



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de una plataforma domótica
mediante el uso de nodos IoT

Developing a domotic platform
through the use of IoT nodes

Autor:

Pablo Pastor Flores

Director:

Bonifacio Martín del Brío

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza
Año académico: 2017 – 2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Pablo Pastor Flores,

con nº de DNI 77216841 - E en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado en Ing. Electrónica y Automática, (Título del Trabajo)

Desarrollo de una plataforma domótica mediante el uso de nodos IoT

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 17 de Septiembre de 2018.

Fdo: Pablo Pastor Flores



Resumen

Este proyecto propone la creación de una red de sensores inalámbricos distribuidos orientados a aplicaciones domóticas, capaces de recolectar variables térmicas y ambientales. El fin de esta red es capturar datos que ayuden a mejorar los sistemas de climatización de las viviendas actuales, contribuyendo al ahorro energético y al confort.

Tras el estudio del campo de la tecnología que abarca este tipo de aplicaciones (Internet de las Cosas) y de las soluciones de control térmico actuales, se ha diseñado una arquitectura IoT específica para este problema y se han implementado prototipos funcionales. Un microprocesador de bajo consumo que comanda los sensores necesarios, se comunica mediante WIFI con un servidor central, el cual almacena y administra la información recibida.

Asimismo, se ha implementado una interfaz para que el usuario pueda monitorizar la red de sensores en tiempo real y acceder a los datos recogidos para su uso en otras aplicaciones. Si bien estos datos tienen un uso potencial en el control térmico de viviendas, la red de sensores diseñada podría ser fácilmente redimensionada y adaptada para operar en otro tipo de entornos, como ciudades inteligentes o control de procesos industriales.

Abstract

This project explores the development of a wireless distributed sensors' network for domotic applications, capable of collecting thermal and environmental variables. The overall aim of this framework is to gather data that helps improve the efficiency of HVAC (*Heating, Ventilating, Air Conditioned*) of present-day homes. This, in turn, would positively contribute towards the energetic saving and comfort of the household.

Following an in-depth study of the field that covers this group of applications (Internet of Things, IoT) and an exploration of the current solutions for thermal control, an IoT framework has been specifically designed for this project. Additionally, functional prototypes have been implemented. A low consumption microprocessor which commands the sensors has been selected. This IoT node transfers data through a WIFI connection to a central server, which gathers and manages the collected data.

Furthermore, an interface has been implemented in order to help the user monitor the nodes in real time and access the data collected for its future use in other applications. Since this collected data have a potential use in the thermal control of households, the developed framework could be easily adapted to operate in other environments, such as in smart cities or industrial processing controls.



Índice

Lista de Figuras	3
Lista de Ecuaciones.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 Objetivos.....	7
1.2 Planificación.....	7
2. Análisis del estado del arte.....	8
2.1 Dispositivos comerciales de climatización doméstica	8
2.2 Modelos térmicos en viviendas.....	8
2.2.1 Índice de confort térmico	11
2.3 Internet de las Cosas	14
2.3.1 Arquitecturas de IoT	16
2.3.2 Dispositivos hardware empleados en IoT	18
2.3.3 Protocolos de comunicación en IoT.....	19
2.3.4 Almacenamiento de datos en IoT.....	22
2.3.5 Seguridad en IoT.....	25
2.3.6 Soluciones para análisis de datos en IoT	26
2.3.7 Comunicación con el usuario	27
3. Diseño del hardware/firmware.....	29
3.1 Diagrama de bloques.....	30
3.2 Microcontrolador y módulo WIFI	31
3.3 Sensores.....	32
3.3.1 Medida de la presión atmosférica	32
3.3.2 Medida de humedad y temperatura.....	34
3.3.3 Medida de la intensidad lumínica.....	36
3.3.4 Medida del índice UV.....	39
3.3.5 Medidas de la velocidad y dirección del viento	43
3.4 Alimentación del sistema.....	48
3.4.1 Estudio energético.....	49
3.4.2 Módulo de generación solar y recarga de baterías.....	50
4. Comunicaciones y gestión de los datos registrados.....	54
4.1 Transmisión al módulo de comunicaciones	54
4.2 Recepción de datos	54
4.3 Almacenamiento de datos	55
4.4 Análisis, uso y acceso a los datos	55
5. Prototipo implementado.....	56
5.1 Unidad exterior.....	56
5.2 Unidad interior	60
5.3 Unidad central	62
6. Conclusiones y trabajo futuro	63
7. Bibliografía.....	65
Anexo I. Modelado térmico de viviendas mediante redes neuronales	75
Anexo II. Datasheet Microprocesador QG8.....	77



Anexo III. Datasheet ESP8266	107
Anexo IV. Datasheet Sensor de Presión.....	119
Anexo V. Datasheet Sensor de Temperatura y Humedad.....	129
Anexo VI. Datasheet Sensor UV	140
Anexo VII. Planos Anemómetro y Veleta.....	152
Anexo VIII. Código implementado en el procesador QG8.....	158
Anexo IX. Código implementado en el procesador esp8266	171
Anexo X. Configuración servidor central	175
Anexo XI. Planos PCB diseñadas.....	177
Anexo XII. Planos Carcasas	191
Anexo XIII. Presupuesto	197
Anexo XIV. Diagrama de Gantt	198



Lista de Figuras

Fig. 1 Número de hogares inteligentes en EE.UU. y UE 2015-2021 [1]	6
Fig. 2 Fuentes de transmisión de calor simplificadas en una vivienda	10
Fig. 3 Índice PMV [17].....	12
Fig. 4 Temperaturas de confort con y sin sistemas de climatización [19]	13
Fig. 5 Concepto de IBM: smarter planet [21]	14
Fig. 6 IoT como resultado de la convergencia de distintas tecnologías [22]	14
Fig. 7 Sistema de automatización domótica integrada [23].....	15
Fig. 8 Esquema de acceso a la red [25]	16
Fig. 9 Arquitectura genérica de IoT [26]	17
Fig. 10 Comparación de plataformas de prototipado [23]	18
Fig. 11 Comparación de dispositivos de desarrollo de bajo coste [29].....	18
Fig. 12 Comparación de nodos Wireless [24]	19
Fig. 13 Comparación de protocolos de mensajería IoT [35].....	20
Fig. 14 Comparación de protocolos HTTP y MQTT [21]	21
Fig. 15 Funcionalidades de los servicios en la nube [42].....	23
Fig. 16 Comparación de servicios en la nube, 2016 [42].....	23
Fig. 17 Esquema de funcionamiento de un DBMS [43].....	24
Fig. 18 Comparación de seguridad en clientes de mensajería [54]	26
Fig. 19 Diagrama de conexión con el usuario [54].....	28
Fig. 20 Ejemplo de aplicación del sistema en una vivienda unifamiliar	29
Fig. 21 Diagrama conceptual de la red IoT	30
Fig. 22 Diagrama de bloques del módulo externo	30
Fig. 23 Diagrama de bloques del módulo interno	31
Fig. 24 Esquemático procesador MC9S08QG8.....	32
Fig. 25 Esquemático módulo wifi ESP8266.....	32
Fig. 26 Banda de precisión del barómetro.....	33
Fig. 27 Circuito de conexión del sensor de presión.....	34
Fig. 28 Rutina de lectura del sensor de presión.....	34
Fig. 29 Esquema de conexión sensor T ^a y H.....	35
Fig. 30 Rutina de lectura del sensor de T ^a y Humedad	35
Fig. 31 Espectro electromagnético [68].....	36
Fig. 32 Sensibilidad de distintas LDR según la longitud de onda de la luz [69]...37	
Fig. 33 Configuración del experimento de caracterización del LDR.....	37
Fig. 34 Caracterización LDR.....	38
Fig. 35 Tabla de valores de iluminación para introducir en el micro	38
Fig. 36 Esquema de conexión sensor de luminosidad.....	38
Fig. 37 Rutina de lectura del sensor de luminosidad	39
Fig. 38 Espectro de irradiación solar [67]	39
Fig. 39 Absorción terrestre de varios tipos de onda. Datasheet del sensor.	40
Fig. 40 Índice UV y relación con la irradiancia.....	40
Fig. 41 Características del sensor de UV	41
Fig. 42 Relación del valor digital con el índice UV.....	41



Fig. 43 Esquema de conexión sensor de UV	42
Fig. 44 Rutina de lectura del sensor de UV	42
Fig. 45 Diseño del anemómetro.....	44
Fig. 46 Velocidades del viento históricas en Zaragoza 2000-2012	45
Fig. 47 Túnel de viento para caracterizar el anemómetro.....	45
Fig. 48 Medición de velocidad mínima mediante tubo de Pitot.....	45
Fig. 49 Esquema de conexión sensor de velocidad del viento	46
Fig. 50 Esquema de conexión del anemómetro.....	46
Fig. 51 Diseño de la Veleta	47
Fig. 52 Orientaciones de la veleta y su valor digital	47
Fig. 53 Tabla de resistencias de la veleta.....	47
Fig. 54 Esquema de conexión sensor de dirección del viento	48
Fig. 55 Fuente Buck seleccionada.....	49
Fig. 56 Configuración del estudio energético.....	49
Fig. 57 Estudio energético del nodo exterior.....	50
Fig. 58 Tensión de 9V en vacío en las placas solares	51
Fig. 59 Ciclo de carga de una batería de 1000mAh con el regulador TP4056.....	51
Fig. 60 Punto de máxima potencia en la carga de baterías [87].....	52
Fig. 61 Mapa de irradiación solar en Europa, 2011 [89].....	52
Fig. 62 Evolución de las horas de luz solar en Zaragoza durante el año [88]	53
Fig. 63 Irradiación media en Zaragoza por meses	53
Fig. 64 Esquema de comunicación QG8-ESP8266	54
Fig. 65 Captura de la plataforma implementada	55
Fig. 66 Esquema general de la unidad exterior.....	56
Fig. 67 Esquema de las unidades de Veleta y Anemómetro exteriores	56
Fig. 68 Primer prototipo implementado	57
Fig. 69 Prototipo final de la unidad exterior.....	57
Fig. 70 Manguera de conexión para la placa de desarrollo.....	58
Fig. 71 Detalle de la manguera para la placa de desarrollo	58
Fig. 72 Conjunto de las PCB disponibles para su futura instalación.....	58
Fig. 73 Detalle del montaje de los distintos elementos en la carcasa	59
Fig. 74 Módulo externo ensamblado.....	59
Fig. 75 Conjunto de todos los elementos externos.....	60
Fig. 76 Esquemático del nodo interno.....	60
Fig. 77 Unidad interior sin carcasa	61
Fig. 78 PCB del módulo interno	61
Fig. 79 Carcasa no empotrable diseñada para el módulo interior	61
Fig. 80 Instalación del módulo interior empotrable en una vivienda real.....	62
Fig. 81 Imagen del servidor central, Raspberry Pi Zero W	62



Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Transmisión térmica global.....	9
Ecuación 2 Modelo de confort de Auliciems	13
Ecuación 3 Modelo de confort de Griffiths.....	13
Ecuación 4 Fórmulas de adaptación de T ^a y Humedad	36
Ecuación 5 Cálculo de la velocidad del anemómetro	44
Ecuación 6 Hipótesis de la velocidad del anemómetro	44
Ecuación 7 Ecuación de la velocidad del anemómetro	45
Ecuación 8 Potencia mínima recolectada diaria.....	53
Ecuación 9 Potencia consumida media.....	53
Ecuación 10 Cálculo de la autonomía del sistema.....	54

1. Introducción

En la actualidad existen millones de dispositivos interconectados capaces de interactuar entre el mundo físico y digital. El conjunto de tecnologías, sensores y redes necesarias para que estas interacciones se produzcan se denomina Internet de las Cosas, en inglés *Internet of Things* (IoT).

Este nuevo ámbito permite ampliar en gran medida la gestión y automatización de aparatos que hasta ahora se manejaban de manera aislada, aumentando su rendimiento, capacidades e integración con su entorno. La implementación de estas tecnologías para interconectar dispositivos fue ideada a finales del s. XX y su adaptación está aumentando en grandes proporciones. Sólo en Europa y Estados Unidos se estima que existen más de 50 millones de hogares con algún tipo de dispositivo inteligente y la previsión futura es que su integración en el hogar vaya en aumento.

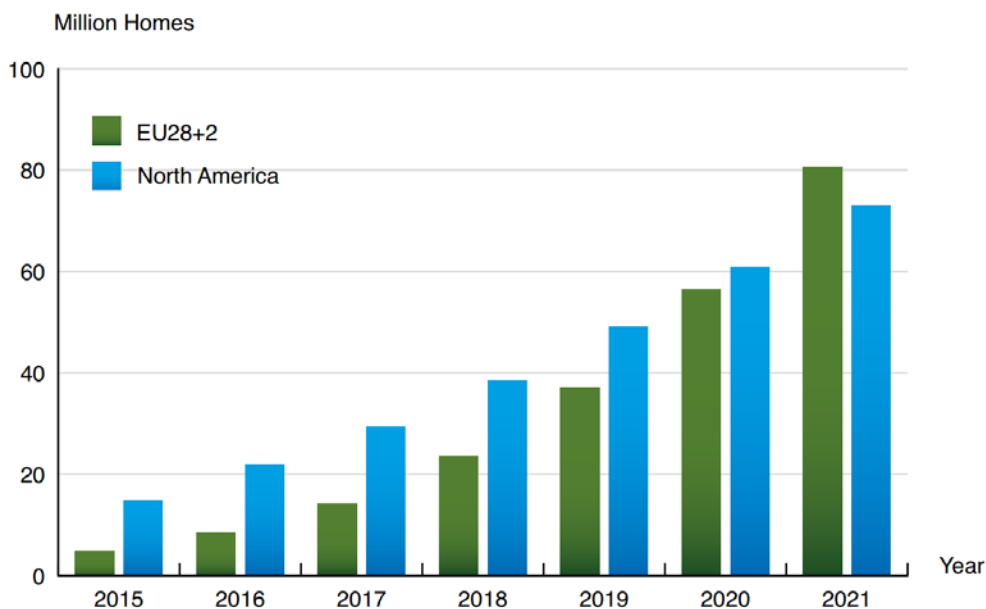


Fig. 1 Número de hogares inteligentes en EE.UU. y UE 2015-2021 [1]

Estos dispositivos inteligentes pueden tener aplicaciones muy diversas, desde sistemas de entretenimiento, seguridad, gestión energética, electrodomésticos o diversos controles domóticos. Pueden estar interconectados entre sí o funcionar de manera independiente. La propiedad que comparten es la capacidad de acceso a los mismos desde una red local o externa que permita su monitorización y gestión.

En este trabajo se plantea el desarrollo de una red de dispositivos lo más genérica posible que sea capaz de recoger medidas relevantes para el desarrollo de modelos térmicos en viviendas, así como la determinación de temperaturas de confort para comandar e interactuar con otros actuadores del ámbito HVAC (*Heating, Ventilating, Air Conditioned*), es decir, aparatos de control térmico y otros elementos de automatización del hogar.



Esta red puede tener unas dimensiones variables, dependiendo del número de nodos sensores que se deseen instalar, haciéndola escalable según su ámbito de implantación.

1.1 Objetivos

El trabajo plantea los siguientes objetivos a cumplir para llevar a cabo la implementación de la red:

- Aplicar los conceptos de IoT (*Internet of Things*) y redes de sensores para desarrollar un sistema domótico, con acceso a Internet y bajo coste, con aplicación al control térmico de una vivienda.
- Analizar las soluciones actuales para el control de sistemas térmicos de una vivienda y los conceptos básicos del confort térmico, así como los sensores utilizados para este propósito.
- Estudiar la viabilidad de realizar una aproximación al modelo térmico de una vivienda.
- Realizar un prototipo del sistema planteado, sometiéndolo a pruebas de funcionamiento y realizar un estudio energético del mismo.

1.2 Planificación

Para llevar a cabo los objetivos planteados, se establecen las siguientes etapas en el desarrollo del proyecto:

En la **fase de análisis del estado del arte** se realiza una revisión bibliográfica de los distintos factores que son relevantes en el proyecto: redes de sensores, IoT (*Internet of Things*), protocolos de comunicación para *smart-sensors* y análisis de los métodos actuales de control de calefacción/aire acondicionado.

En la **primera fase de diseño** se analizan las opciones disponibles para la medición de las distintas variables requeridas y se seleccionan los sensores correspondientes. Se selecciona el sistema de comunicación que se va a emplear entre los nodos y los microprocesadores que van a gestionar cada una de las estaciones, así como las fuentes de energía que se van a implementar. Se plantean los diagramas de funcionamiento de los nodos en sus dos escalas: la gestión de cada uno de los sensores y la comunicación con el servidor.

En la **segunda fase de diseño** se realizan los prototipos, programando cada uno de los nodos y se implementan los módulos de comunicación con el servidor que almacena los datos recopilados. Se configura la estructura de las bases de datos del servidor para almacenar la información.

En la **fase final de diseño** se realizan los planos del prototipo, se instalan los módulos de alimentación y se desarrollan las herramientas que van a gestionar la visualización y el acceso a los datos que cada uno de los nodos recopile.



En la **fase final del proyecto** se estudian los datos recogidos para estudiar la viabilidad de la implementación de algoritmos en el futuro.

Adicionalmente, el desarrollo pormenorizado de estas fases se ha plasmado en un diagrama de Gantt, Anexo XIV.

2. Análisis del estado del arte

En este apartado, por un lado, se van a analizar los dispositivos de control térmico actuales, el desarrollo de modelos térmicos pensando en el control térmico de viviendas. Por otro lado, se analizan las soluciones de IoT disponibles, para seleccionar las soluciones más adecuadas para nuestro caso.

2.1 Dispositivos comerciales de climatización doméstica

Los controles térmicos para vivienda son un producto ampliamente conocido. Podemos clasificarlos en dos grupos: los controles convencionales y los *inteligentes*. En el primer grupo se encontrarían los termostatos de histéresis simples y los programables, cuya realimentación de control es únicamente la temperatura del habitáculo a regular. En el grupo de los *inteligentes* se encuentran empresas como Nest, Netatmo, Tado o Momit [2]-[5] que han añadido diferentes funcionalidades a sus productos. Para la mayoría de ellos su *inteligencia* reside en la capacidad de manejo a distancia a través de Internet, acceso a estadísticas de uso e incluso la programación automática basada en los hábitos del usuario. Sin embargo, la realimentación de control de estos sistemas sigue siendo únicamente la temperatura interior, por lo que, ante cambios térmicos externos su tiempo de respuesta es considerablemente lento, dependiendo del aislamiento de la vivienda. Por ello resultaría interesante el desarrollo de sistemas capaces de sintetizar el comportamiento térmico de la vivienda para reaccionar mejor ante cambios en el ambiente externo y mitigar las perturbaciones en las temperaturas internas de la vivienda.

2.2 Modelos térmicos en viviendas

El modelado térmico de una vivienda tiene vital importancia a la hora de saber cuál es su comportamiento ante las condiciones climatológicas del entorno. En las técnicas de arquitectura moderna, los factores térmicos de los materiales utilizados son ampliamente conocidos y permiten realizar modelos de comportamiento previos a la construcción (en [6] se analizan las soluciones de construcción actuales). Sin embargo, para edificaciones antiguas, o de cuyos materiales constructivos no se tienen datos (como el ejemplo expuesto en [7]), resulta interesante poder realizar modelos térmicos para evaluar su comportamiento y mejorar el funcionamiento de sus sistemas de aislamiento y climatización, como se propone en [8].

La realización de un modelo térmico de un conjunto tan amplio como es una vivienda no es algo trivial, ya que la cantidad de variables involucradas requieren expresiones no lineales muy interdependientes.

Abordando el problema desde los conceptos básicos de la termodinámica [9], se pueden acotar las fuentes de intercambio térmico como tres tipos:

- Transmisión por **radiación**: a través de ondas electromagnéticas que se emiten desde fuentes radiantes. Cualquier elemento es una fuente radiante, sin embargo, las radiaciones más relevantes para el modelo provienen del Sol y las fuentes de generación de calor en el interior de la vivienda (sus habitantes).
- Transmisión por **convección**: transferencia a través de un fluido, como puede ser el aire, que se encuentra a una temperatura diferente de la de la vivienda. Pudiendo aumentar o disminuir la temperatura del edificio, en función de la diferencia térmica.
- Transmisión por **conducción**: se transfiere calor por el contacto directo entre dos cuerpos. La capacidad de transmisión depende de la conductividad térmica de cada material. Tendrá repercusión en las diferentes capas aislantes de paredes y tejados de la vivienda, así como sus cimientos.

Los flujos de calor genéricos en un edificio tienen diversas fuentes y a la hora de analizarlas, se puede llegar a modelos muy complejos, dependiendo de la exactitud con la que se quiera trabajar. Por ejemplo, para modelar la convección en la pared se pueden considerar sus muros externos como modelos de pared plana con un flujo de convección perpendicular, pero seguramente sea una aproximación alejada de la realidad. Se deberían considerar los efectos del flujo laminar en la superficie y flujo turbulento conforme se aleja, las irregularidades del material, la dirección del flujo entre muchos otros factores.

Todas estas fuentes combinadas deberían llegar a una expresión de la transmisión térmica global donde se agrupasen las transmisiones de conducción, convección y radiación.

$$Q_{total} = \sum \frac{k_{conducción} A}{\Delta x} (T_1 - T_2) + \sum h_{convección} A (T_1 - T_2) + \sum h_{radiación} A (T_1 - T_2)$$

Ecuación 1 Transmisión térmica global

En la Ecuación 1, Q_{total} es la cantidad de energía transferida a la vivienda. $K_{conducción}$ es la conductividad térmica de cada elemento, A es el área, Δx es el espesor de la capa de conducción, T_1 y T_2 son las temperaturas de los dos elementos que están transfiriendo calor y h son los coeficientes de convección y radiación de cada uno de los elementos que transfiere calor.

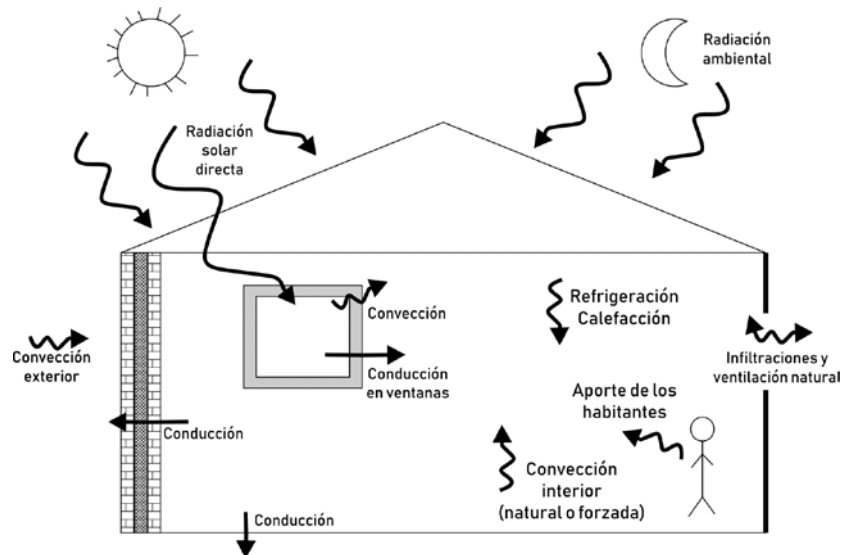


Fig. 2 Fuentes de transmisión de calor simplificadas en una vivienda

Esta ecuación debería contener todas las transmisiones de calor que existan en la vivienda, ilustradas en la Fig. 2. De facto, realizar un estudio pormenorizado de estas características sería inviable.

Históricamente los modelos se pueden obtener de distintas maneras: basados en las propiedades del edificio, basados en un proceso de identificación, o en un método que combine estas dos técnicas. Vamos a nombrar varios métodos recogidos en la tesis doctoral de H. Arham [10] y que pasamos a resumir, para contemplar algunas de las soluciones que se pueden adoptar:

- **Red eléctrica equivalente:** sería el modelo más simple, planteado anteriormente, basado en las propiedades de construcción. Sería altamente inexacto por la dificultad de incluir todas las fuentes de manera correcta y las aproximaciones que se deberían aplicar para simplificar sus cálculos. Ejemplo de aplicación en [11] y [12].
- **Técnica de transformada de Fourier finita y compleja (CFFT):** se basa en utilizar los métodos armónicos para resolver las ecuaciones de la transmisión de calor si estas se pueden considerar como funciones periódicas. Sirve, por ejemplo, para modelar las evoluciones de temperatura exterior y radiación solar que afectan a los flujos de calor a través de los muros.
- **Ecuaciones diferenciales:** se discretiza el modelo físico al igual que en el modelo de red eléctrica equivalente y se plantea para cada fuente una ecuación de balance energético con sus tres componentes (conducción, convección y radiación) donde se contemplan sus diferentes condiciones de contorno, obteniéndose un sistema de N ecuaciones en derivadas parciales de tiempo y espacio. Ejemplo de aplicación en [13].



- **Modelos ARMA:** AutoRegressive Moving Average, se basan en el procesamiento estadístico de datos, para lo cual es necesario previamente recopilar datos de evolución de las temperaturas [14].
- **Modelos basados en redes neuronales:** Mediante la recolección de datos históricos se pueden conseguir modelos de predicción teniendo en cuenta las variables afectadas como temperatura externa e interna a lo largo del día, humedad, velocidad del tiempo y todas aquellas que afecten a los procesos de transmisión de calor. Este método se propone de manera más pormenorizada en el Anexo I como posible desarrollo futuro.

Las técnicas de modelado a partir de datos recopilados suponen un planteamiento más sencillo, en el cual, los focos de calor no tienen por qué estar explícitamente planteados, sino que, a través de las evoluciones de las variables relacionadas, se puede aproximar el balance de calor total. Son más convenientes para el modelado de edificaciones antiguas o de las que no se tienen datos de construcción.

2.2.1 Índice de confort térmico

El índice de confort térmico se define como “la condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” [15]. Nuestro cuerpo tiene una temperatura interior de unos 37°C, si esta aumenta o disminuye percibimos la pérdida o ganancia de energía en el organismo, que interpretamos como un aumento o disminución de la temperatura del ambiente. Para percibir un confort térmico ha de haber una relación entre las temperaturas del cuerpo y del ambiente que se correspondan con un balance de energía neutro, es decir, el calor que genera el metabolismo ha de ser igual a la transferencia con el ambiente. Esta situación da lugar a la percepción de una *neutralidad térmica*. Por tanto, la percepción de la temperatura ambiente va ligada a otros factores dinámicos como pueden ser la temperatura radiante, las corrientes de aire, la temperatura del suelo o la vestimenta que llevamos.

Teniendo en cuenta estas variables, se puede llegar a unas condiciones donde los balances energéticos, de manera global, puedan asimilarse como neutros, que corresponderían a unas determinadas condiciones ambientales. Estas temperaturas para las cuales percibimos la neutralidad térmica constituyen la zona de confort. Para definirla existen gran cantidad de métodos y algoritmos que tienen en cuenta distintas variables.

En la tesis doctoral de Chávez Del Valle [16] se recopilan diferentes modelos que determinan las zonas de confort:

- **Modelos teóricos:** se basan en los datos de generación metabólica media y variables de temperatura y humedad del ambiente.

- El **modelo ET DISC** de la norma ASHRAE usa un modelo de balance térmico que toma en cuenta la transferencia radiante del cuerpo humano para determinar el flujo de calor entre la piel, el organismo y el exterior en un intervalo temporal.
- El **modelo SET** desarrollado por Nishi, Gagge en 1977 aproxima el área de contacto de una persona media por un cilindro para estudiar las relaciones térmicas introduciendo otras variables físicas relativas al ambiente.
- **Modelos empíricos:** modelos desarrollados en estudios a través de la recolección estadística de las percepciones térmicas de una determinada población en distintas situaciones.
 - El **modelo PMV-PPD** se basa en los votos en una escala de sensación térmica de una cierta población y se define un índice PPD (*Predicted percentage of dissatisfied*) que predice la cantidad de personas que estarán incómodas en esas condiciones térmicas. Los votos emitidos van de -3 a 3. [17]

PMV	Thermal Sensation	PPD(%)
+3	Hot	100
+2	Warm	75
+1	Slightly warm	25
0	Neutral	5
-1	Slightly cool	25
-2	Cool	75
-3	Cold	100

Fig. 3 Índice PMV [17]

- El **modelo PD** (*Predicted percent dissatisfaction due to draft*) estudia la relación del confort térmico con las corrientes de aire, teniendo en cuenta su velocidad, temperatura y turbulencia.
- El **modelo TS** realiza una correlación entre la temperatura del aire y la presión para predecir el voto de una población.

Existe otra gran cantidad de estudios que estudian la correlación de diferentes variables y la zona de confort mediante estudios estadísticos, como [18], donde se estudia la importancia de la radiación solar.

- **Modelos adaptativos:** tienen en cuenta variaciones en el clima en el que se habita para definir las preferencias térmicas en el interior de las viviendas.

- El modelo **Auliciems** correlaciona la temperatura interior y exterior a través de la revisión de varias bases de datos, dando como resultado una relación válida entre los 18-28°C:

$$T_{int} = 17,6 + 0,31 * T_{ext}$$

Ecuación 2 Modelo de confort de Auliciems

Donde T_{int} es la temperatura interior y T_{ext} del habitáculo.

- El modelo **Griffiths** realiza la misma correlación, pero para edificios europeos con sistemas pasivos:

$$T_{int} = 12,1 + 0,38 * T_{ext}$$

Ecuación 3 Modelo de confort de Griffiths

Donde T_{int} es la temperatura interior y T_{ext} del habitáculo.

En este tipo de estudios es muy relevante la ubicación del estudio que se realiza, y se ha podido comprobar que el muestreo en edificios con elementos de control térmico y edificios sin ningún tipo de climatización muestran resultados considerablemente distintos [19].

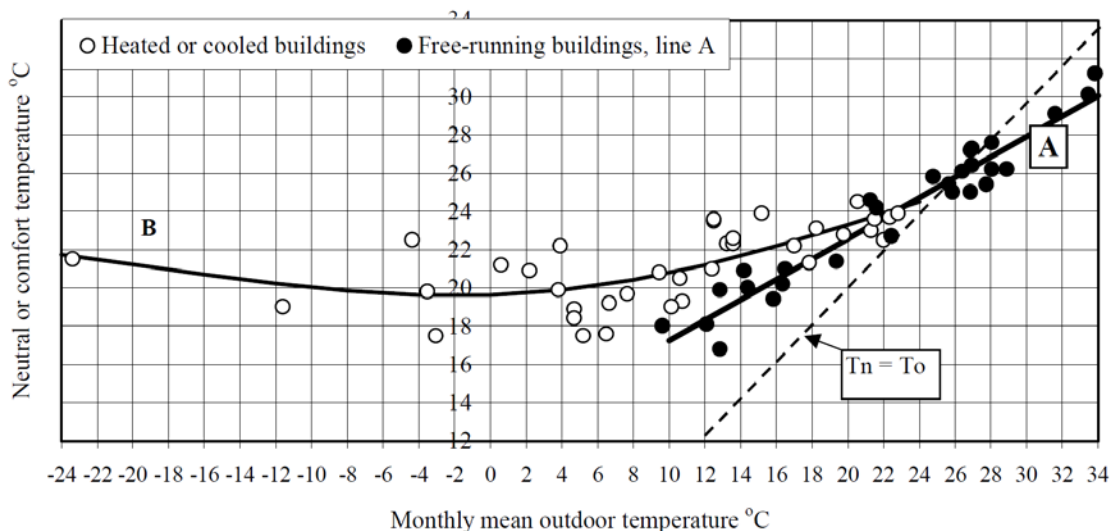


Fig. 4 Temperaturas de confort con y sin sistemas de climatización [19]

Otro de los factores a tener en cuenta, es que se ha demostrado que la temperatura de confort puede variar en función de la humedad ambiental, recomendándose su inclusión en la realización de modelos adaptativos como el de [20].

Con esta revisión se comprueba que existen una gran variedad de métodos para realizar estimaciones de la temperatura de confort en un edificio. Para conseguir el resultado más acertado, se recomienda tener en cuenta la ubicación de la vivienda para elegir un modelo consecuente. Por otro lado, resultaría interesante adaptar la recogida de votos con un modelo como el de PMV-PPD para adaptar la estimación a los habitantes de una vivienda concreta.

2.3 Internet de las Cosas

El concepto de Internet de las Cosas nace en 1999 con la proliferación de Internet y las tecnologías asociadas al mismo. Esta idea propone aplicar las redes informáticas a dispositivos *hardware*, típicamente eléctricos o electrónicos para ampliar sus capacidades.

En el mercado y la industria existen gran variedad de dispositivos, sensores y objetos de uso cotidiano a los cuales se les puede aplicar este concepto. La propuesta es aprovechar de una manera más eficaz la información que estos dispositivos son capaces de recolectar y las acciones que pueden llevar a cabo para interconectarlos con otros dispositivos a fin de establecer lógicas de acción entre ellos. Estas comunicaciones se denominan D2D (*Device to device*), donde no se requiere supervisión humana y tanto el emisor como el receptor son dispositivos que interactúan entre sí. Estos dispositivos tienden a llamarse *inteligentes*, por sus capacidades de transmisión de datos y acción autónoma.

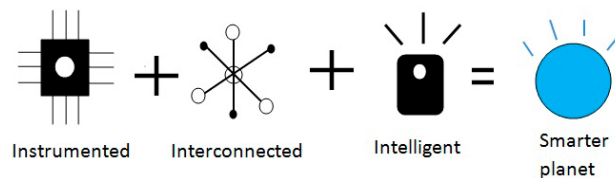


Fig. 5 Concepto de IBM: smarter planet [21]

El Internet de las cosas se puede entender como resultado de la convergencia entre la unión de: la capacidad de monitorización de los sensores actuales, las tecnologías de comunicación o de redes y los algoritmos de procesamiento de la información. (Fig. 6) La evolución de este concepto durante sus primeros años de evolución ha sido relatada por diversos autores como [21]-[24].

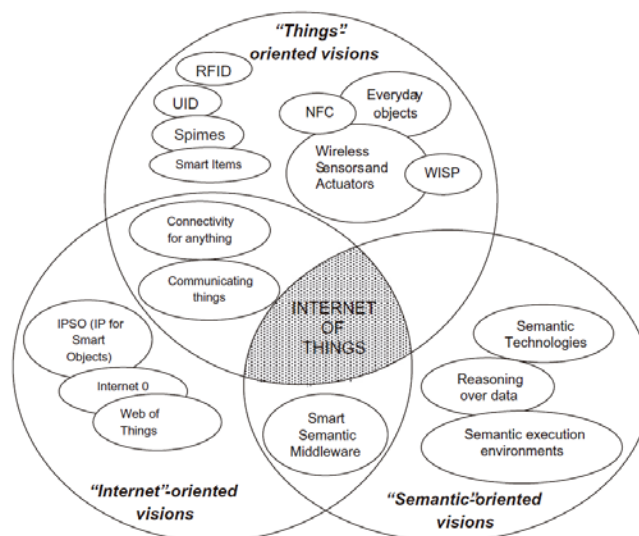


Fig. 6 IoT como resultado de la convergencia de distintas tecnologías [22]

La domótica (sistemas de automatización de la vivienda) es uno de los campos donde más se ha impuesto el IoT, con dispositivos que van desde luces automáticas a sistemas de vigilancia o sistemas de entretenimiento (Fig. 7).

Una de las posibilidades interesantes a la hora de desarrollar este trabajo es diseñar un producto capaz de recoger medidas para mejorar la eficiencia térmica de una vivienda, pero a la vez, que sea capaz de integrarse con otras redes IoT para comandar actuadores HVCA en función de algoritmos que incluyan en el producto.

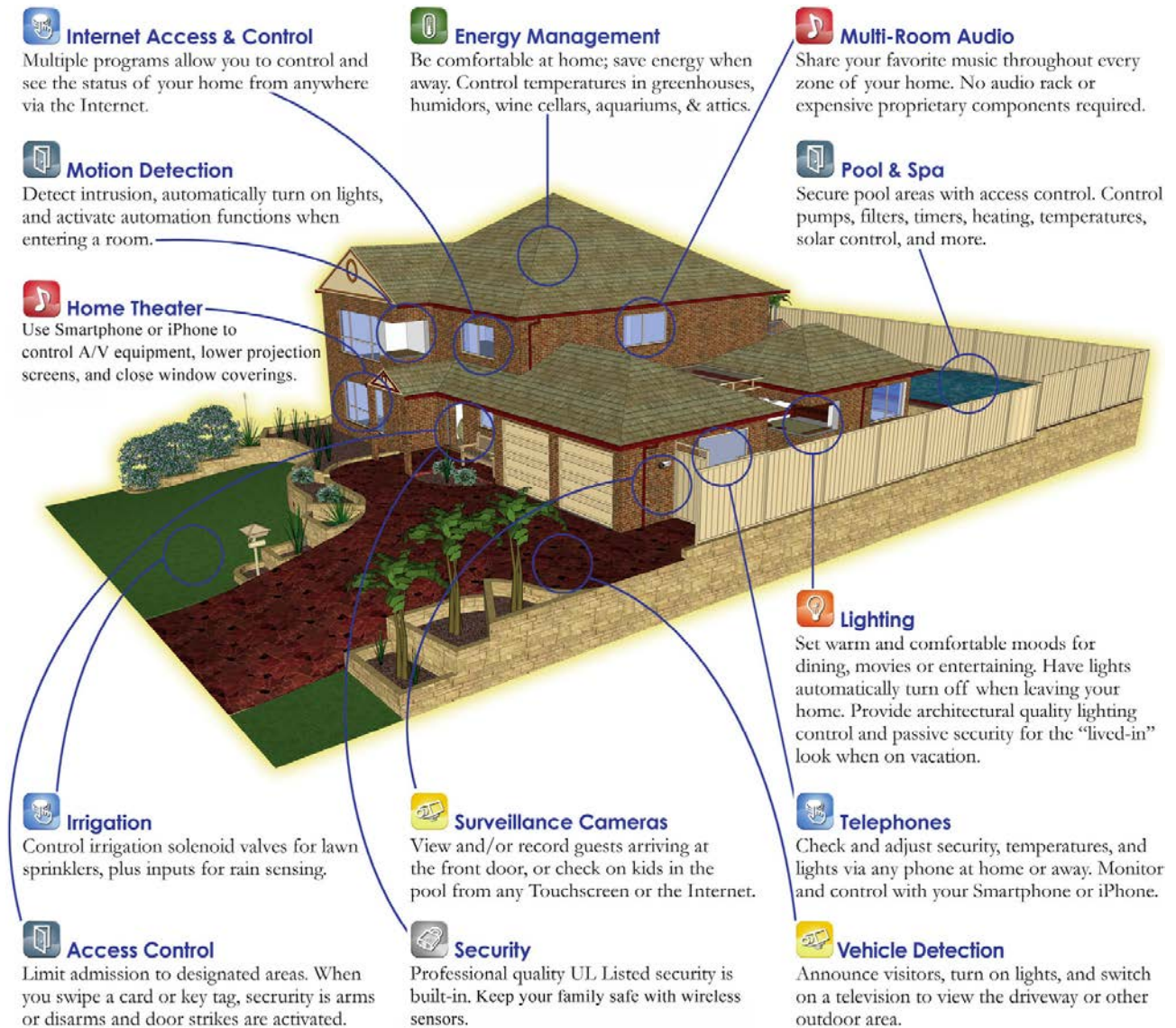


Fig. 7 Sistema de automatización domótica integrada [23]

2.3.1 Arquitecturas de IoT

Cuando se diseña una red de IoT hay que tener en cuenta múltiples factores que le darán su identidad. Se ha de especificar: qué tipo de comunicación se va a implantar, cómo se va a acceder a la red de sensores, cómo se van a comunicar o qué jerarquía va a haber entre ellos.

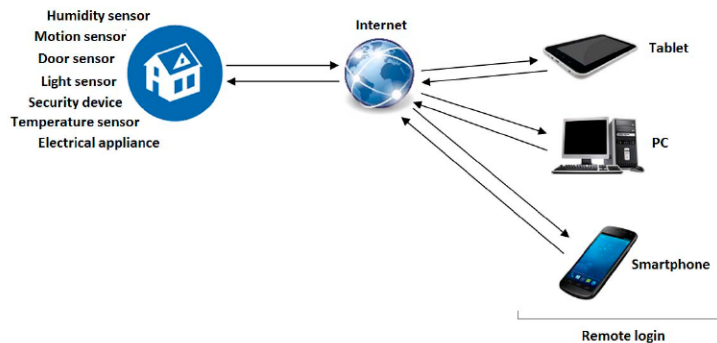


Fig. 8 Esquema de acceso a la red [25]

Una de las primeras discriminaciones que se pueden realizar según la jerarquía de sus nodos [23] :

- Un **nodo individual**, que no interactúa con nadie más.
- Una **red distribuida** con varios nodos donde cada uno tiene una función predefinida y *sabe* cuál es su función.
- Una **red centralizada** con varios nodos, comandados por un dispositivo principal que dirige al resto de elementos en la red.

Más allá de la jerarquía de sus nodos, se puede definir su arquitectura a través de las capas que conforman el sistema (Fig. 9). Generalmente, las arquitecturas de redes IoT se conforman por cuatro capas [26] :

- **Things Layer** (capa de sensores/actuadores): son los aparatos o nodos que componen la capa *física* de la red. Los dispositivos que se van a utilizar.
- **Communication Layer** (capa de comunicaciones): consiste en los protocolos de red que se van a emplear, tanto de comunicación entre los nodos como de acceso externo a la red. Puede ser Wifi, Bluetooth, GSM, RF, LoRa, ZigBee ... Se puede utilizar dos protocolos distintos, para el acceso a la red y para los nodos, siempre y cuando el servidor de acceso y recopilación de datos tenga capacidad de comunicarse en ambos protocolos.
- **Data Processing Layer** (capa de procesamiento): constituida por la estructura de recopilación de la información que general los nodos, así como los algoritmos de computación y análisis de datos.

- **Service Layer** (capa de aplicación o servicios): todos los servicios que la red ofrezca, desde visualización de datos en tiempo real, vigilancia de instalaciones o control de dispositivos. Requiere una interfaz que le permita comunicarse con el usuario.

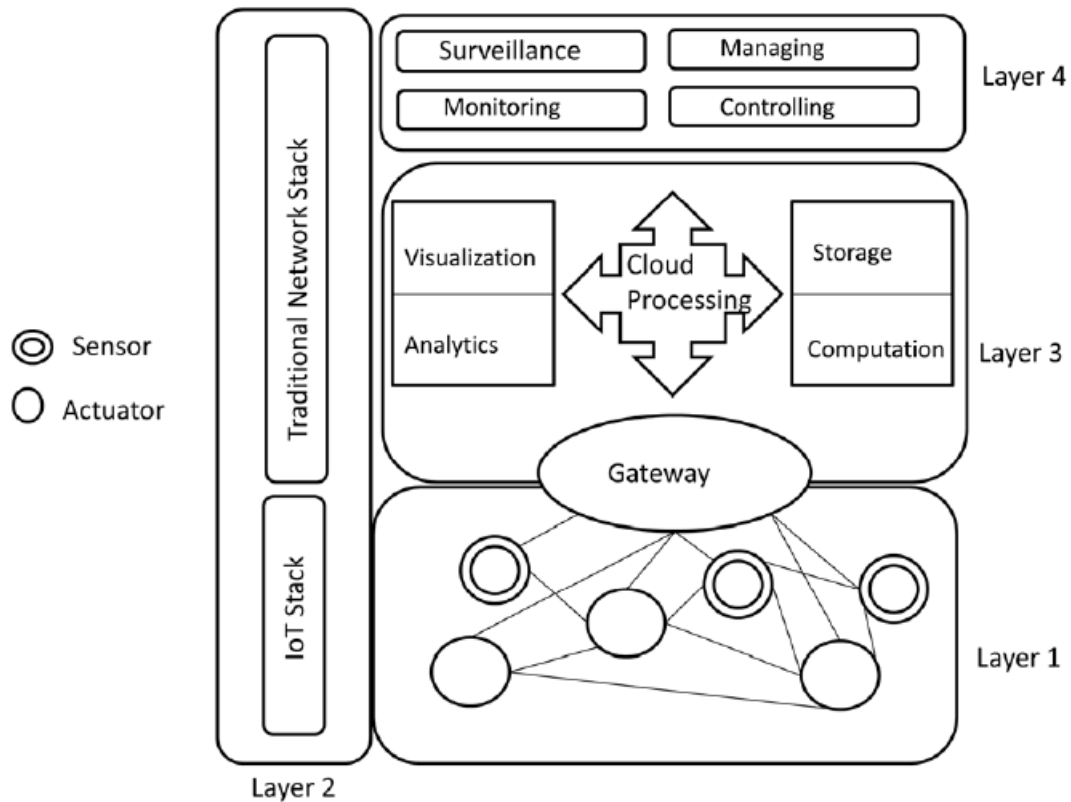


Fig. 9 Arquitectura genérica de IoT [26]

Una característica diferenciadora a la hora de diseñar una red IoT es tener en cuenta su capacidad de **reparametrización** en tiempo real. Los ambientes inteligentes han de ser flexibles para adaptarse al comportamiento del ecosistema que les rodea y suplir necesidades cambiantes. Por esto, ha de tenerse siempre en mente diseñar estructuras de fácil actualización para cambiar su comportamiento [27].

2.3.2 Dispositivos hardware empleados en IoT

Los nodos de la red se componen por microprocesadores que normalmente tienen capacidad para controlar algún tipo de sensor o actuador. Conforman la capa de dispositivos o *things layer* y se requiere que tengan un módulo de comunicaciones que permita transmitir la información recogida. Suelen compartir las características de bajo consumo y reducido coste.

Existen infinidad de plataformas para implementar los sistemas de actuación y sensado requeridos en una red IoT. En dispositivos comerciales se puede hacer uso de microprocesadores embebidos para los cuales se diseñan sus capacidades de comunicación. Sin embargo, para aplicaciones de desarrollo se suele emplear plataformas más completas (Fig. 11, Fig. 10, Fig. 12).

Mainboard (SoC)	RAM	Storage	USB	Interfaces	Size (mm)	Cost (≈ USD2016)
ODROID-C1+ (S805)	1GB DDR3 SDRAM	MicroSD Card Slot eMMC module socket	4 x USB 2.0 Host, 1 x USB 2.0 OTG	ADC, 40 GPIO, SPI, I2C, UART, HDMI, RTC, IR Receiver, DMC, PLL/OSC.	85 x 56	35
Raspberry Pi 3 Model B+ (BCM2837)	1 GB	MicroSD Card Slot	4 x USB	ADC, 17 GPIO pins, UART, SPI, I2C.	85.6 x 56.5	35
Beaglebone Black (AM3358)	512 MB DDR3	MicroSD Card Slot 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage	1 x USB host, 1 x USB miniB	ADC, 66 GPIO, SPI, I2C, UART, CAN, PWM, LCD, GPMC, MMC1, 4 Timers.	86.4 x 53.3	50
Udoo Neo (i.MX 6SoloX)	512 MB or 1 GB DDR3	SPI Flash onboard, MicroSD, 8-bit SDIO interface	1x USB 2.0 A Host 1x USB OTG	ADC, 36 x GPIO pins, UART, 2X CAN Bus, PWM, I2C, SPI	85 x 59.3	50 - 65
ODROID-XU4 (Exynos 5422)	2 Gbyte 933MHz	MicroSD, eMMC	1 x USB 2.0, 2 x USB 3.0	ADC, 42 GPIO, SPI, I2C, UART, PWM, RTC I2S, HDMI, PMIC.	82 x 58 x 22	74

Fig. 10 Comparación de plataformas de prototipado [23]

Name	Processor	RAM	Power	Operating system	Programming	Analog inputs	Digital I/O pins	USB ports	LAN (MBit)	WiFi Module	Size (mm)	Weight (g)	Cost per node US\$
Raspberry Pi	ARM BCM2835	256-512 MB	5 V USB	Raspbian, Ubuntu, Android, ArchLinux, FreeBSD, Fedora, RISC OS	C, C++, Java, Python	0	8-27	1-4	10/100	-	85,6 x 53,98 x 17-85 x 56 x 17	42-45	25-35
Arduino	ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA328, ATMEGA1280	16-32 KB	7-12 V USB	/	Arduino	6	14	1	-	-	75 x 53 x 15	~30	30
BeagleBone Black	AM335x 1 GHz ARM® Cortex-A8	512 MB	5 V	Linux Angstrom	Arduino	6	14	1	10/100	-	86.3 x 53.3	39.68	45
Phidgets	PhidgetSBC	64 MB	6-15 V	Linux	Visual Basic, VB.NET, C#, C/C++, Flash/Flex, Java, Labview, Matlab, ActionScript 3.0, Cocoa	8	81+80	6	-	-	81.3 x 53.3	60	50-200
Udoo (quad)	Freescal e.i.MX6Quad, 4 x ARM® Cortex™-A9 core Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU	1 GB	6-15 V	Ubuntu, Android, Linux, ArchLinux	Arduino, C, C++, Java	14	62+14	5	10/100/1000	+	110 x 85	120-170	99-135

Fig. 11 Comparación de dispositivos de desarrollo de bajo coste [29]

Name	Processor	RAM	External memory	Operating system	Size (mm)	Weight (g)	Cost per node US\$
Raspberry Pi	ARM BCM2835	256– 512 M	2–64 G	Raspbian	85.6 × 53.98 × 17	45	25–35
MicaZ	ATMEGA128	4 K	128 K	Tiny os, Mote runner	58 × 32 × 7	18	99
TelosB	TI MSP430	10 K	48 K	Tiny os, Sos, Mantisos	65 × 31 × 6	23	99
Iris	ATMEGA1281	8 K	128 K	Tiny os, Mote runner	58 × 32 × 7	18	115
Cricket	ATMEL128L	4 K	512 K	Tiny os	58 × 32 × 7	18	225
Lotus	ARM NXP LPC1758	64 K	512 K	Rtos, Tiny os	76 × 34 × 7	18	300

Fig. 12 Comparación de nodos Wireless [24]

Para prototipar nodos IoT, la plataforma Raspberry Pi [29] es una de las opciones que mejor se adapta a la mayoría de requerimientos. Se trata de un sistema basado en arquitectura ARM [30], con alimentación de 5V, varios puertos GPIO (puertos digitales de propósito general con capacidad de comunicación I2C, UART o SPI), conexiones USB, HDMI y puertos LAN en alguno de sus modelos. Su funcionamiento es como el de un *pequeño* ordenador, capaz de ejecutar un sistema operativo, generalmente Raspbian [31] (S.O. basado en la distribución de Linux Debian y optimizado para este hardware en concreto). Su memoria RAM varía según el modelo desde 256Mb a 1Gb. Su capacidad de almacenamiento depende de un soporte externo (una tarjeta SD) y puede llegar a 64Gb. Existen modelos con conexión Wifi, como son la Raspberry Pi 3, 3+ y Raspberry pi Zero W. Su coste es muy reducido (todo un computador por tan solo unos 15 €) comparado con el resto de plataformas de desarrollo.

Todas estas características la hacen la opción más utilizada dentro del ámbito de la investigación para el desarrollo de diferentes proyectos IoT. Existen además plataformas acoplables a estos dispositivos que añaden características IoT para el sensado de diferentes variables [32].

2.3.3 Protocolos de comunicación en IoT

Los protocolos de comunicación son convenios estandarizados por los que se establece la forma de enviar unas determinadas cadenas de información desde un receptor hasta un emisor. Estos convenios pueden incluir *tramas* o apartados dentro de la información que se comunica que correspondan a apartados de verificación para saber que la información llega correctamente (QoS, *Quality of Service*), o claves de autenticación para aumentar la seguridad de la transmisión en la red utilizada.

“La mayoría de los dispositivos IoT se basan en hardware de bajo coste, con capacidades de cálculo limitadas y relojes inexactos. Por estas razones, se requieren protocolos de comunicación simples, que aseguren las conexiones en estos escenarios” [33].

Dentro de los protocolos *clásicos* adaptables al IoT se encuentra el SSH (*Secure Shell*), que se basa en conexiones cliente-servidor de manera encriptada. Se utiliza por ejemplo en [34].

Los protocolos de nueva creación para IoT o que han sido mayormente adaptados se revisan en [28], [35] y [36]:

Protocol	Sponsor	Blessing	Message Pattern	QoS	Security
MQTT	MQTT.org	OASIS	P/S	3 levels**	Best practices
CoAp	IETF	IETF	R/R	Optional	DTLS
XMPP	XMPP Standards Foundation	IETF	P-P P/S by extension	None (could be done by extension)	TLS/SSL XEP-0198
AMQP	OASIS	OASIS	P/S	Sophisticated	TLS; SASL
DDS	OMG	OMG	P/S	Sophisticated	In beta
SMQ	Real Time Logic	Proprietary (might be opened)	P/S	Limited; mostly via TCP	SSL
HTTP/2	IETF	IETF	R/R	TCP	TLS/SSL
AllJoyn	Qualcomm	AllSeen Alliance	RPC	No	Done by app
STOMP	Community		P/S	Simple Server-specific	N

P/S=Publish/Subscribe R/R=Request/Respond P-P=Point-to-Point RPC=Remote Procedure Call

Fig. 13 Comparación de protocolos de mensajería IoT [35]

Los patrones de comunicación que se utilizan en los protocolos IoT suelen ser de tres tipos:

- **Publicación-Suscripción:** se basa en la emisión de mensajes por parte del emisor, con un *tema* como cabecera. No existe un receptor específico, sino que van dirigidas a un intermediario llamado *bróker* el cual le redirige la información a los receptores que han pedido recibir información sobre un tema en concreto. De esta manera, en un *tema* pueden publicar varios emisores y el receptor que esté suscrito no sabrá cuál de ellos ha sido el emisor del mensaje.
- **Petición-Respuesta:** requiere que el agente que posee la información se encuentre en todo momento a la escucha de cualquier petición, para cuando esta llega, enviar la información requerida al receptor. Este tipo de mensajería es poco eficiente en el IoT, puesto que requiere que los nodos se sincronicen de forma temporal con el cliente que vaya a realizar las peticiones de información, o esté todo el tiempo a la escucha, es decir, conectado (con el consumo energético asociado).

- **Punto a punto:** es un tipo de comunicación entre iguales, donde todos los nodos están a la escucha en la red, a la espera de ser requeridos por otro de los nodos, para establecer la comunicación entre sí. No existe una figura de cliente y servidor, sino que cualquier nodo puede realizar peticiones y realizar envíos.

Dentro de estos, el más establecido es MQTT y el HTTP debido a su simplicidad de manejo y el bajo ancho de banda que requieren.

HTTP Vs MQTT

PARAMETERS	HTTP	MQTT
Design orientation	Document centric	Data centric
Pattern	Request/Response	Publish/Subscribe
Message size	Larger, partly because status detail is text based	Small, with a compact binary header just two bytes in size
Complexity	More complex	Simple
Extra libraries	Depends on the application (JSON, XML), but typically not small	Libraries for C (30KB) and JAVA (100KB)
Services levels	All messages get the same level of service	Three quality of service settings
Data distribution	1 to 1 only	Supports 1 to 0, 1 to 1, and 1 to n

Fig. 14 Comparación de protocolos HTTP y MQTT [21]

HTTP, sin embargo, es un protocolo de comunicación con conexión de tipo punto a punto, ideada para las peticiones a servidores web clásicos y sus mensajes tienen un mayor tamaño, además de que es un protocolo no cifrado por lo que su seguridad es menor.

MQTT es un protocolo más sencillo, que permite la autenticación de los suscriptores y los emisores, aumentando su seguridad. Además, contempla tres grados de QoS para asegurar la recepción del mensaje al *bróker* y los receptores. Este protocolo se analiza más detalladamente en [37].

En aplicaciones para entornos específicos como son los automóviles, las redes IoT pueden establecerse en el estándar Bus Can (*Controlled Area Network*) Como se realiza en [38].



Existen además otros protocolos desarrollados por empresas privadas para sus propios productos, para cuya utilización es necesario pagar un canon al desarrollador, como es por ejemplo el KNX de KNX Association, especializado en comunicación para automatización de viviendas, usado en [27].

2.3.4 Almacenamiento de datos en IoT

Conectar gran cantidad de dispositivos a un servidor para realizar mediciones periódicamente como se hace en el IoT requiere una metodología de almacenamiento de datos ordenada, que facilite su accesibilidad y sea escalable para redimensionar la red sin requerir cambios en su topología.

Una de las decisiones a la hora de diseñar una plataforma IoT es dónde van a ser almacenados los datos recogidos por los sensores. Podemos optar por soluciones integradas en la propia plataforma, donde hemos de ocuparnos del dimensionamiento y configuración del servidor, o contratar un servicio externo, para alojar nuestros datos en sus servidores adaptándonos a sus configuraciones. Estos son los llamados *Servicios en la nube*.

Existen tres tipos de servicio en la nube orientados al IoT [39]:

- **SaaS (Software as a Service):** el servicio externo maneja y almacena los datos recopilados en nuestra red de manera externa. Eximiéndonos del mantenimiento de los servidores y aportando un software de acceso al cliente.
- **PaaS (Platform as a Service):** además de alojar los datos, el servicio externo ofrece una plataforma de análisis, gestión y visualización propias haciendo que el desarrollo del *front-end* o interfaz de usuario también sea externo. Limita la personalización de los servicios, pero simplifica el diseño.
- **IaaS (Infrastructure as a Service) o BaaS (Back-end as a Service):** se ofrecen además de plataformas de gestión y servidores de almacenamiento, otros recursos físicos que permiten externalizar el tratamiento de datos. Se denomina también *cloud computing* (computación en la nube) y nos exime de tener que disponer de un nodo central, o servidor. Se puede hacer que los nodos de medición de nuestra plataforma accedan directamente al servidor externalizado por Internet. Son los servicios Web más novedosos y están liderados por servicios como Amazon Web Services (AWS) o Microsoft Azure [40], [41].

Existen una gran cantidad de servicios Web que combinan los servicios SaaS, PaaS e IaaS. Estos pueden ir desde almacenamiento y visualización hasta aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para su análisis y control de sistemas (Fig. 15).

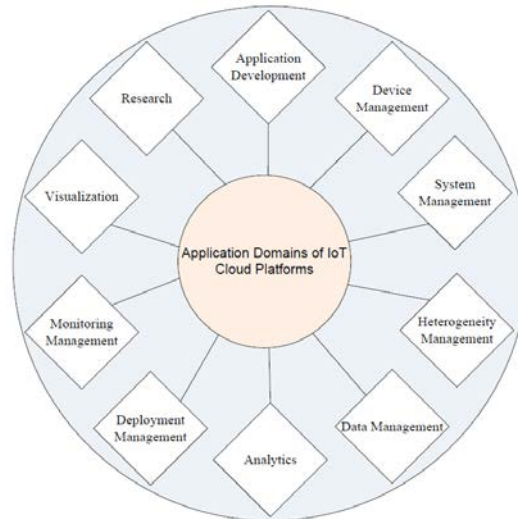


Fig. 15 Funcionalidades de los servicios en la nube [42]

Sin embargo, a pesar de las facilidades en el diseño y mantenimiento que estos servicios suponen, tienen un coste asociado que suele ser mayor que el de mantenimiento de un servidor propio para plataformas no comerciales de pequeño tamaño. Además, los protocolos de comunicación se complican, ya que se han de establecer a través de Internet, asegurando un nivel de seguridad suficiente.

En el estudio realizado por Partha, 2016 [42] se analizan los servicios en la nube más populares y las características de cada uno de ellos (Fig. 16).

Application domain specific IoT clouds.

IoT cloud platforms	Application development	Device management	System management	Heterogeneity management	Data management	Analytics	Deployment Management	Monitoring management	Visualization	Research
Aer cloud			√			√		+		
Arkessa		√			+					
Arrayant connect	√	√		+	√					
Axeda		√			+			√		
Ayla's cloud fabric		√	+						√	
Carriots	+	√						√		
Echelon	√	√					+			
Etherios		+						√		
Exosite		√	+					√		
GroveStreams	√							√		
IBM IoT		√						√		+
InfoBright					√	+				
Jasper Control Centre	√					+		√		
KAA	+				√					
Microsoft research lab of things	√									+
Nimbits					+	√				
Oracle IoT cloud			√	√	+		√		√	
OpenRemote	√			+						
Plotly						√		√	+	
SeeControl IoT		+				√			√	
SensorCloud		+						√	√	
Temboo	+							√		
Thethings.io	√		+					√		
ThingSpeak	√							+	√	
ThingWorx	√				+			√		
Xively	√	+						√		

Abbreviation: + suitable, √ applicable.

Fig. 16 Comparación de servicios en la nube, 2016 [42]

Por supuesto, en un entorno tan cambiante, este tipo de servicios se actualizan continuamente, pero puede servir como referencia para la búsqueda de un servicio adecuado.

Si no deseamos hacer uso de los servicios en la nube, la alternativa es configurar nuestro servidor central como almacén de datos, o añadir un dispositivo extra con esta función.

La mejor opción para el almacenamiento, es recurrir a un sistema gestor de bases de datos (DBMS), el cual integra unos métodos de organización y acceso a los datos establecido, simplificando esta labor en gran medida (Fig. 17):

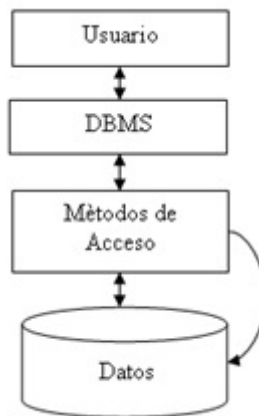


Fig. 17 Esquema de funcionamiento de un DBMS [43]

Existen muchas clasificaciones, según su variabilidad o su organización. Para el IoT en domótica se requiere un almacenamiento de datos temporal, de tipo estático, donde los datos no van a ser modificados posteriormente, aunque su jerarquía puede ser variable. Las soluciones más populares son MySQL [44] o InfluxBD [45]. También se pueden encontrar soluciones PaaS que integran la gestión de datos y la visualización de estos con productos como OwnCloud [46].

Sin embargo, con la llegada de las plataformas IoT, la información a almacenar incrementa en gran medida, y estos archivos pueden llegar a contener miles de millones de entradas, por lo que su gestión desde hardware de bajo coste como el propuesto en el capítulo anterior es inviable. Por este motivo, para aumentar la escalabilidad de los sistemas de almacenamiento, se ideó el concepto de bases de datos descentralizadas.

Estos métodos permiten almacenar la información en una cantidad de nodos variable, y que puede ir aumentándose para adaptar el almacenamiento a las necesidades de la red. Estos sistemas se pueden implementar de manera sencilla con softwares como NoSQL. Ejemplos de aplicación en [47], [48], [49].



2.3.5 Seguridad en IoT

Uno de los aspectos más descuidado en el ámbito IoT es la seguridad de las comunicaciones que se realizan. Tanto de manera interna, entre los nodos como de acceso externo a la red. Sin embargo, en la expansión del IoT y la domotización de dispositivos cotidianos va a ser uno de los factores críticos para asegurar la sostenibilidad de estas tecnologías.

Evitar los accesos no autorizados a las redes IoT no es sólo importante por la privacidad de los datos (de hecho, la mayoría de transmisiones son de datos no críticos, como lecturas de sensores ambientales) sino para evitar su uso y reconfiguración para otros desempeños como pueden ser ataques DDOS (ataques de denegación de servicio). Estas técnicas de *hacking* de dispositivos IoT están en continuo crecimiento y consisten en acceder de forma ilícita a los nodos de la red, normalmente por fallos de seguridad en los protocolos implementados, e introducir scripts para hacerlos acceder a servicios de internet. De esta manera, si se emplean grandes cantidades de nodos, se puede hacer que un servicio se vea sobrecargado y no pueda responder a las solicitudes. En [50] y [51] se estudian este tipo de ataques con dispositivos IoT y se proponen medidas para evitarlos.

Otro de los peligros recae en el acceso a actuadores dentro de nuestra red. Quizá visualizar de forma ilícita los valores de temperatura o humedad de nuestras viviendas es un mal con el que podemos convivir, pero si se conectan elementos como sistemas de calefacción, puertas o persianas inteligentes, los peligros pueden ser mucho mayores.

La solución más sencilla, si no necesitamos acceder a la red desde Internet, es cerrar todos los puertos de conexiones externas de la plataforma, haciendo que solo sea ejecutable desde dentro de la misma. Sin embargo, siempre resulta interesante poder visualizar mediciones o poder administrar actuadores desde zonas lejanas a la vivienda, por lo que otras medidas propuestas son:

- Emplear siempre que sea posible conexiones cifradas y protocolos que permitan autenticación, como es MQTT. Combinar técnicas de autorización (mediante contraseñas, certificados u otros métodos de identificación) con la encriptación de las comunicaciones, de manera que la información no se envíe sin antes haber sido asegurada.
- No utilizar contraseñas débiles o por defecto en los servicios de administración que se implementen en la plataforma.
- Incluir un servicio de firewall en el nodo de acceso a la red, que bloquee todos los intentos de comunicación desde dispositivos no conocidos, como se plantea en [52].

- Si se va a hacer uso de la red de manera externa se recomienda implementar una red privada virtual (VPN) que elimine las debilidades de la red desde la cual se accede, como se propone en [53].
- Si se pretende utilizar comunicaciones con el usuario mediante mensajería instantánea, asegurar que los servicios utilizados son seguros (Fig. 18) [54].

	E-mail	WhatsApp	Twilio	Telegram	Text Message
Speed	Slower	Slower than Telegram	Slow due to video and call	Faster	Speed is high due to only text
Security	Can be hacked	Secured	Fairly secured	Highly secured	Not highly encrypted
Price	Free of cost	It has yearly subscription charges	Monthly billing	Free	Free
Type of Communication	One way communication	Two way communication	One way communication	Two way communication	One way communication
Supporting Features	Supports with every device	Supports smaller set of functions	Supports in some country only	Has efficient supporting architecture	Supports with every device

Fig. 18 Comparación de seguridad en clientes de mensajería [54]

- Implantar un gestor de la red capaz de detectar contraseñas por defecto que hayan sido hackeadas en ataques previos, analiza los paquetes de datos y notifica de datos sensibles no cifrados y detecta el tráfico *bot* originarios de dispositivos IoT hackeados [55].
- Otros estudios [56], [57] proponen utilizar las tecnologías de *blockchain* [58] para mejorar las autenticaciones de los dispositivos. La tecnología *blockchain* es la utilizada para cifrar y autenticar los paquetes de datos que contienen la información sobre las transacciones con monedas virtuales. Debido a su uso, la seguridad que conlleva no es comparable a ningún otro método de autenticación aplicable a sistemas autónomos. La idea es aprovechar esa seguridad y asociar transacciones (de cantidades monetarias ínfimas) para que las redes de *blockchain* sirvan como método de autenticación en las conexiones que se realicen en la plataforma domótica.

2.3.6 Soluciones para análisis de datos en IoT

Una vez se ha establecido la infraestructura de recolección de datos, resulta interesante poder acceder a ellos para visualizar estadísticas y estudiar las medidas recolectadas. Al igual que en almacenamiento de la información existen dos opciones: Su análisis mediante software embebido en el servidor de la plataforma o utilizar un servicio en la nube.



Entre las soluciones en la nube más empleadas están:

- Google App Engine [59]: es un servicio que permite programar algoritmos de tratamiento de datos personalizados y se puede administrar la información mediante servicios API (Interfaz de programación) que simplifican el acceso a sus servicios. Se utiliza en [60].
- Carriots: es otro servicio de pago que permite el uso de scripts dentro de un entorno privativo para manejar los nodos IoT que se configuren en su servicio. Es empleado en [42].

Las soluciones de análisis local más utilizadas son:

- Programación de algoritmos en Matlab para después introducirlos en el servidor (Raspberry Pi) que se emplee. Esta solución se propone en el workshop de Matlab Simulink [61].
- OpenStack: se trata de una serie de herramientas de gestión de datos que se pueden utilizar tanto en redes privadas como en la nube. Se utiliza en [48].
- KAA: es una solución de código libre que incluye sistemas de análisis de datos para bases de datos temporizadas e implementación de escenarios de automatización. Se presenta esta utilidad en [42].
- OwnCloud: es un software de código libre que permite tanto análisis como gestión de datos en redes privadas. Funciona como Dropbox o Google Drive. Se pone un ejemplo de uso en [46].
- Grafana [62] : es una interfaz de análisis de datos en tiempo real que permite la visualización de variables almacenadas en bases de datos temporizadas y la implementación de alarmas, o scripts auto ejecutables ante eventos en los datos que se analizan.

Existen una gran cantidad de servicios que permiten la gestión de la información en plataformas IoT. Es conveniente estudiar de antemano que acciones se desean implantar mediante la información recogida previamente para elegir la solución que mejor se adapte en cada caso. Otra opción que permite la gestión local de las bases de datos es realizar algoritmos propios de análisis de la información, ya que en el servidor central (presuponiéndolo similar a Raspberry pi) se dispone de un sistema operativo capaz de ejecutar scripts programados en prácticamente cualquier lenguaje

2.3.7 Comunicación con el usuario

"Hay marcas comerciales que ofrecen soluciones de dispositivos sincronizados y forman un ecosistema de vivienda inteligente, Otras compañías intentan ir un paso más allá y ofrecen ecosistemas completos. Esta solución es un sistema

cerrado y ata al usuario con una única marca. Esta práctica ha demostrado no tener demasiado éxito" [34].

Si se desea lograr la mayor compatibilidad posible con dispositivos comerciales, es aconsejable acudir a soluciones prediseñadas que incluyan algoritmos de comunicación con otros dispositivos. Una de las opciones más completas es OpenHab, que permite configurar un panel de control domótico accesible desde cualquier dispositivo en red, no solo con los dispositivos IoT que se diseñen, sino con prácticamente cualquier dispositivo inteligente comercial. Esta solución permite aunar todos los elementos inteligentes de una vivienda en un único panel.

Si no es necesaria la compatibilidad con más dispositivos, se pueden desarrollar aplicaciones web o móvil utilizando las instrucciones de acceso a la base de datos que se haya configurado y programando un entorno gráfico para el usuario final. Su funcionamiento será más rudimentario, pero puede ser útil para plataformas donde la visualización de datos sea sencilla (Fig. 19). Se pueden programar aplicaciones Android mediante Java como se propone en [34] o utilizar aplicaciones que simplifican su creación como el MIT App Inventor, donde se configura de forma gráfica la aplicación y no son necesarios conocimientos de programación móvil, como se explica en [63].

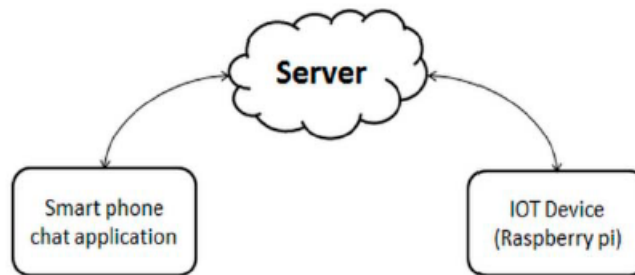


Fig. 19 Diagrama de conexión con el usuario [54]

Si se desea diseñar una aplicación móvil para controlar y visualizar la información recogida por los nodos de la red, han de tenerse en cuenta los siguientes tipos de requisitos [64]:

- **Requisitos funcionales:** describen la interacción entre el sistema y el ambiente. Han de tenerse en cuenta las funcionalidades de la plataforma para recoger las opciones de control en la aplicación diseñada.
- **Requisitos no funcionales:** suponen los aspectos del sistema que son visibles para el usuario, no tienen una relación con el funcionamiento de la red, sino con la interacción con el usuario.

3. Diseño del hardware/firmware

En este apartado se diseñan los nodos sensores que se distribuirán por la vivienda para medir aquellas variables ambientales que en el Apartado 2.2 se han mostrado como más relevantes. Así, en los espacios interiores se ha de monitorizar la temperatura y humedad, mientras que en la zona exterior se desea medir temperatura, humedad, presión atmosférica, luminosidad ambiental, velocidad y dirección del viento, así como la radiación solar.

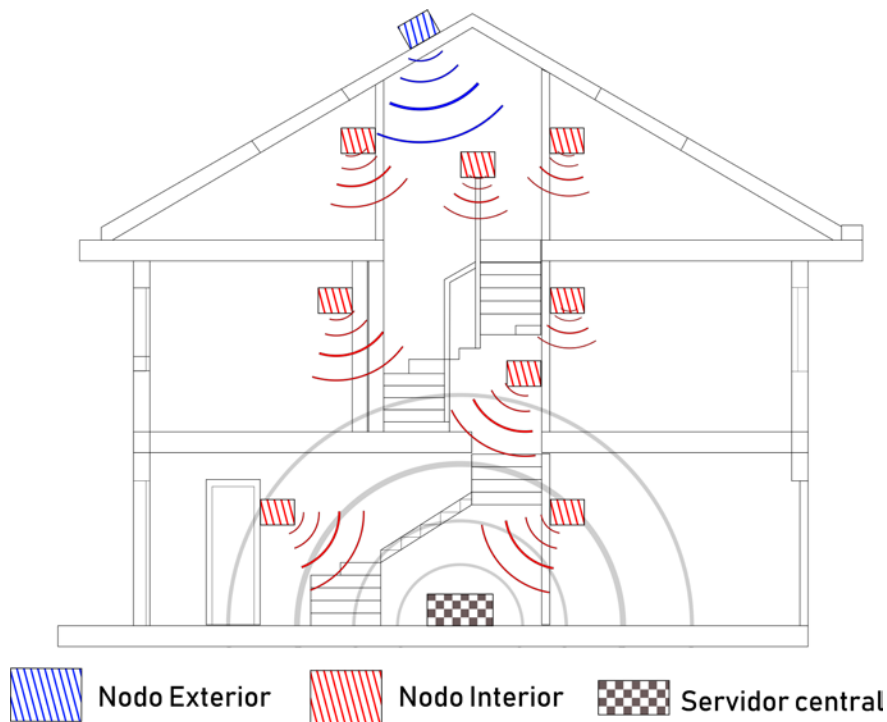


Fig. 20 Ejemplo de aplicación del sistema en una vivienda unifamiliar

Se instalará un nodo IoT (cuyo diseño expondremos en este apartado) en cada estancia de la vivienda, como se esquematiza en la Fig. 20, suponiendo homogéneas su temperatura y humedad para simplificar el modelo. Se plantea realizar dos estaciones de medición, una externa con todo el hardware necesario para su cometido, y una interna, modelo simplificado, adaptada a sus necesidades. Con este sistema, en un trabajo futuro se podría plantear la modelización de los flujos de calor de la vivienda, como se ha propuesto en el Anexo I.

3.1 Diagrama de bloques

Se presenta el diagrama conceptual de la plataforma IoT ideada:

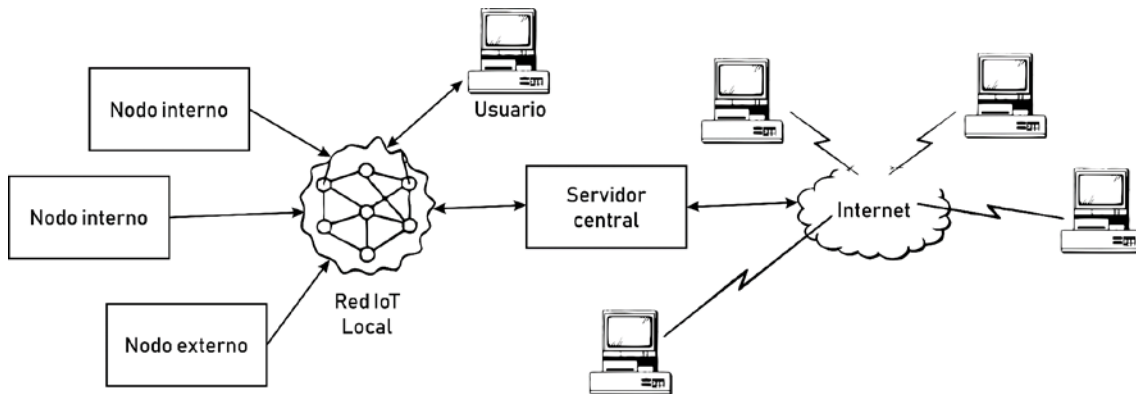


Fig. 21 Diagrama conceptual de la red IoT

La plataforma IoT se basará en una red Wifi a la cual se conectarán los nodos de medición y el servidor de recolección de datos, que albergará el software de comunicación con el usuario. A su vez, se dotará al servidor de acceso a Internet para poder acceder a la plataforma de manera remota.

El esquema de los nodos externos y su conexión:

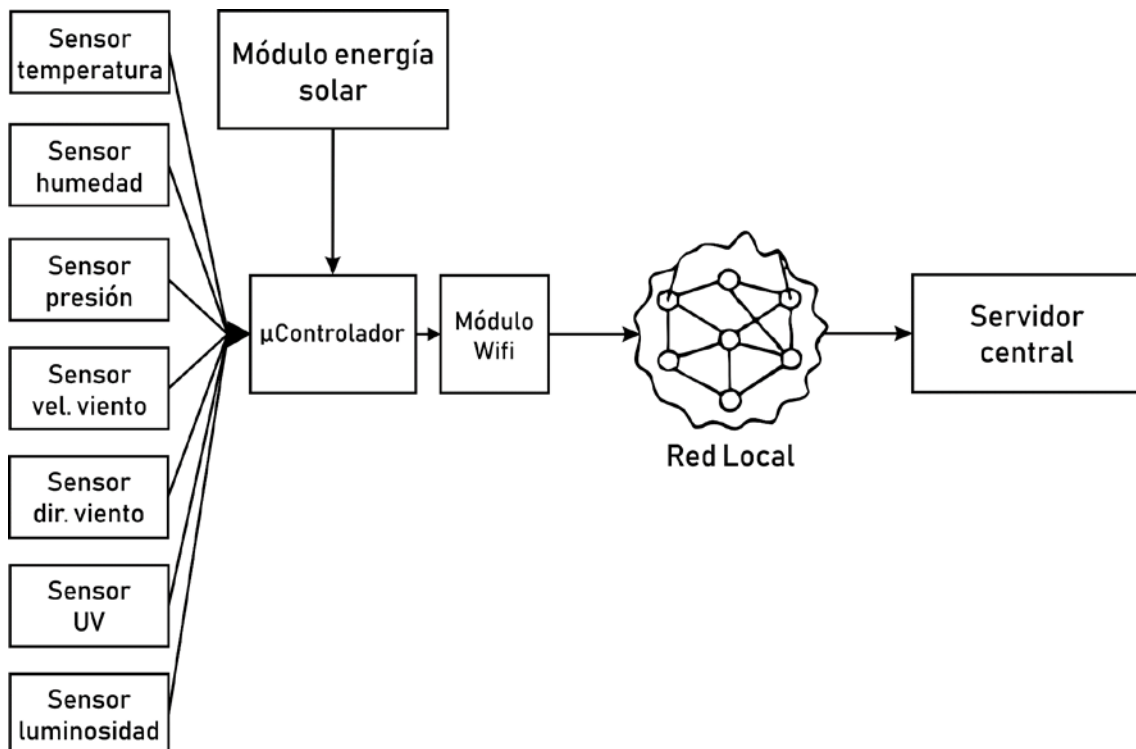


Fig. 22 Diagrama de bloques del módulo externo

El esquema de los nodos internos y su conexión:

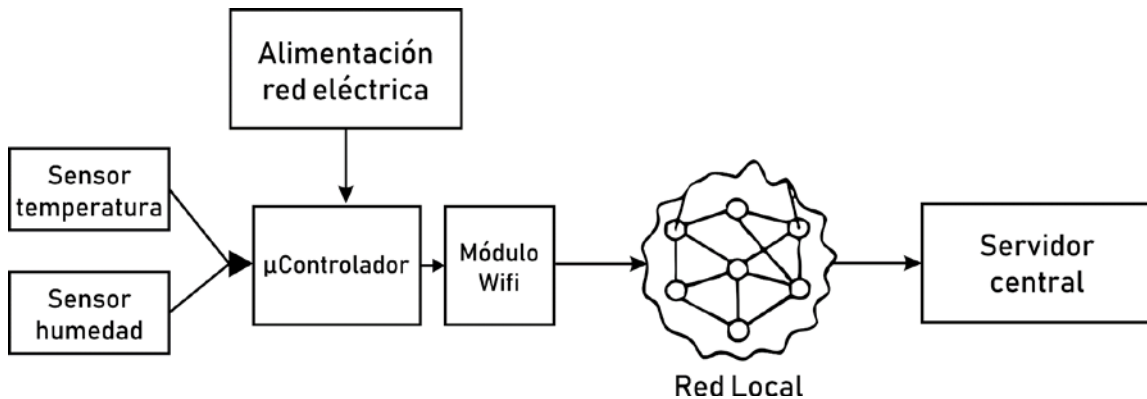


Fig. 23 Diagrama de bloques del módulo interno

Como se observa en las figuras Fig. 22 y Fig. 23 se presenta el esquema hardware de los nodos. Se utilizarán sensores para las diversas medidas, acondicionando su señal para llevarlas al microcontrolador. Este transmitirá las medidas procesadas al módulo Wifi mediante una conexión serie. El envío al servidor central se realizará por la red Wifi local mediante un protocolo estandarizado. El servidor almacenará todas las medidas realizadas para que el usuario las visualice en sus dispositivos, accediendo desde la propia red o de manera externa.

3.2 Microcontrolador y módulo WIFI

El microprocesador es la unidad central desde la cual se van a realizar todas las comunicaciones con los sensores periféricos para recolectar las medidas. Se ha seleccionado un microprocesador de bajo coste y arquitectura lo más simple posible, con un consumo energético muy reducido. El modelo seleccionado es el MC9S08QG8 de la familia HCS08 de NXP, de ahora en adelante QG8 (Fig. 24). Se trata de una unidad de procesamiento de 8 bits, muy bajo consumo y precio muy reducido, con 12 puertos disponibles, capacidad de comunicación serial, I2C o SPI. Cuenta además con 8 canales de conversión analógico-digital con resolución de 10 bits. Trabaja a una frecuencia de 8MHz y dispone de 8KB de memoria flash y 512 B de RAM. Más información en el Anexo II.

Como el microcontrolador no dispone de un módulo de comunicaciones Wifi integrado (para optimizar en precio y consumo), se ha seleccionado uno externo. Se trata del módulo ESP8266 de Espressif (Fig. 25), gestionado por un procesador Tensilica L106 de 32bits. Se trata de un módulo de bajo coste, en su versión ESP-01, que incluye la antena para las comunicaciones. Su frecuencia de trabajo es de 80Mhz y cuenta con una memoria flash de 4MB. Más información en el Anexo III.

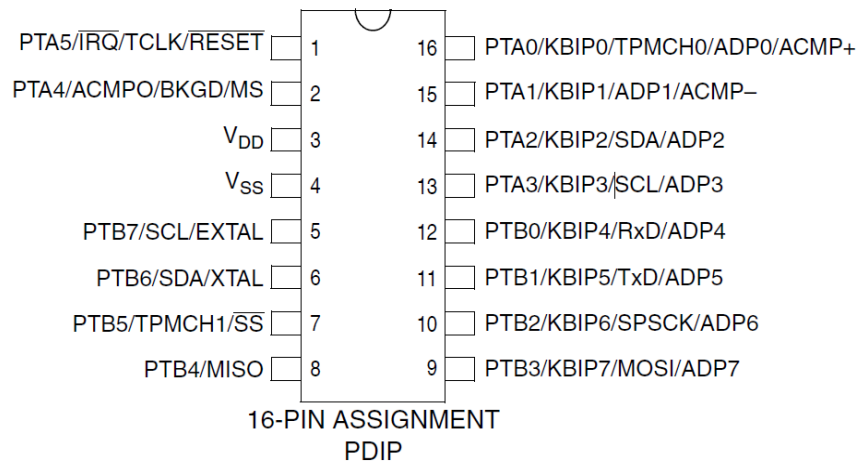


Fig. 24 Esquemático procesador MC9S08QG8

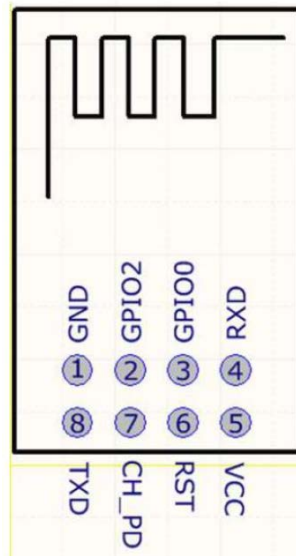


Fig. 25 Esquemático módulo wifi ESP8266

La comunicación entre ambos ha sido desarrollada de manera específica a través de una comunicación serie. El procesador controlará además la alimentación del módulo Wifi, de manera que únicamente se encuentre encendido durante la transmisión de datos para optimizar el consumo energético.

3.3 Sensores

3.3.1 Medida de la presión atmosférica

Se desea medir la fuerza que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre. Esta tiene una correlación con la altitud y las precipitaciones que puede resultar útil para realizar predicciones meteorológicas. Se va a implementar únicamente en los módulos externos. Existen sensores de presión atmosférica o manómetros digitales de dos tipos [65]:

- **Sensores capacitivos:** miden diferenciales en la capacitancia de una membrana metálica y una placa fija. Al cambiar la presión (fuerza por unidad de área), esta desplaza la membrana cambiando en consecuencia la capacidad entre las placas.
- **Sensores piezoresistivos:** se basan en los cambios de resistividad producidos por flexión por la exposición al cambio de presión.

El sensor seleccionado es el MS5607-02BA03-50 de TE Connectivity. Incluye un conversor AD de 24 bits para la medida de la presión e interfaces de comunicación digital I2C y SPI. Su rango de funcionamiento es de 10-1200 mBar cuya precisión se describe en la Fig. 26.

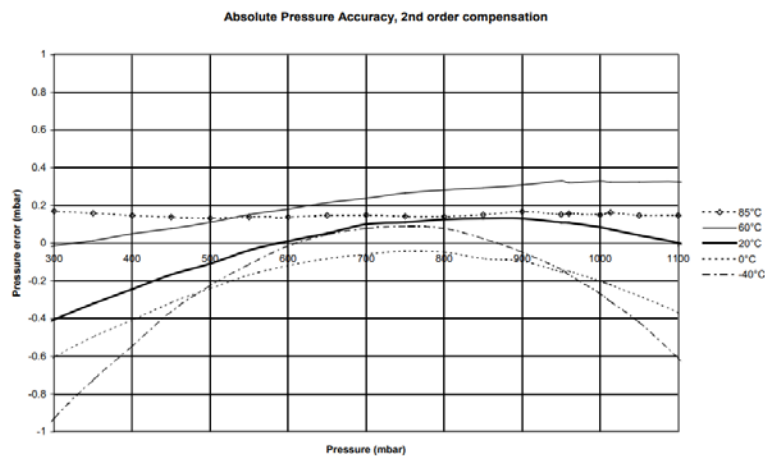


Fig. 26 Banda de precisión del barómetro

Su consumo, al igual que su coste, es muy reducido. Se trata de un sensor con lecturas de presión y temperatura, pero sólo se va a utilizar la medida de la presión. La temperatura se va a leer para realizar una compensación por software; pero para que los errores de precisión en los nodos interiores y exteriores sean iguales, la lectura de temperatura se realizará con un sensor igual para ambos.

Incluye además un método de medición promediado para minimizar el error realizando varias lecturas, configurable desde 256 a 4096 mediciones y métodos de compensación por software en función de la temperatura para llegar a precisiones de 0.1mBar. La información detallada se haya en el Anexo IV. Datasheet Sensor de Presión.

Su conexión al QG8 se va a realizar por medio de una comunicación I2C estándar, siguiendo las instrucciones del fabricante. La comunicación, como se esquematiza en la Fig. 28 consistirá en la activación del sensor mediante su circuito de adaptación de la alimentación (Fig. 27) y seguir las instrucciones facilitadas por el fabricante. El algoritmo reporta un valor de presión del tipo 123456 donde se interpreta 1234,56 mBar.

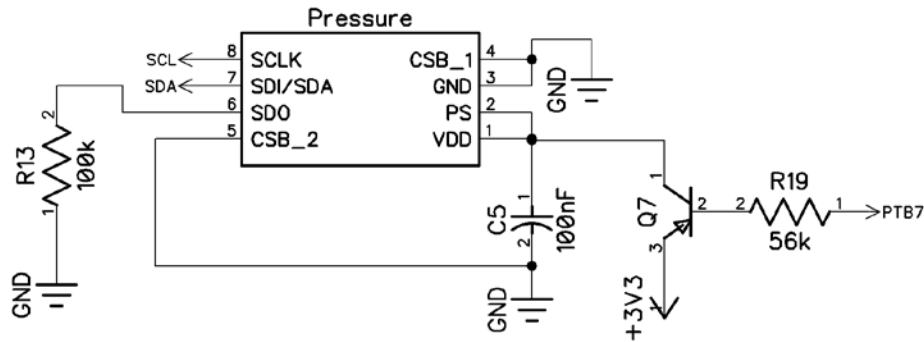


Fig. 27 Circuito de conexión del sensor de presión

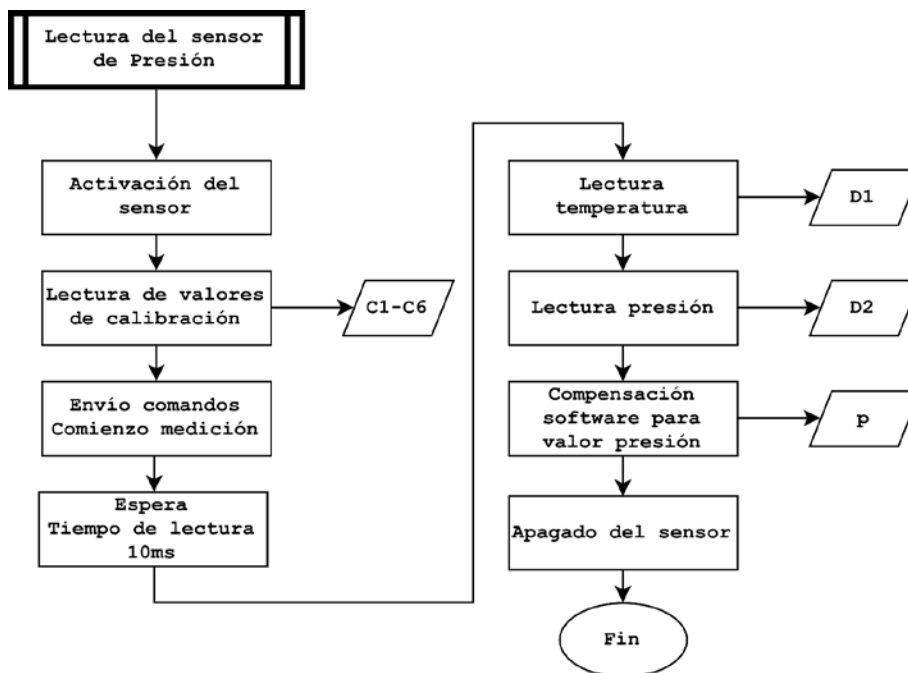


Fig. 28 Rutina de lectura del sensor de presión

3.3.2 Medida de humedad y temperatura

La humedad relativa del aire se define como el tanto por ciento de presión de vapor que tiene el aire respecto de la máxima que puede tener a esa temperatura [66]. Existen higrómetros capacitivos, resistivos, térmicos o gravimétricos, que utilizan diferentes propiedades eléctricas de los materiales para trasladar las variaciones de humedad a una medida.

La temperatura define la cantidad de energía térmica de un sistema, existen una gran cantidad de sensores basados en distintas propiedades físicas: termistores, termopares o infrarrojos.

En este caso se ha seleccionado un sensor digital con capacidad de medición de temperatura y humedad de forma conjunta. Utiliza elementos low-k (dieléctricos) integrados en tecnología CMOS con una precisión de 12 bits para humedad y 14 bits para temperatura. Se trata del sensor Si7006-A20 de Silicon

Labs, con una precisión en humedad del $\pm 5\%$ y en temperatura de $\pm 1^\circ\text{C}$. Es de bajo coste y consumo, con interfaz de comunicaciones I2C fácilmente adaptable al sistema que se está diseñando. Más información en el Anexo V. Se va a utilizar tanto para los nodos internos como externos.

Su esquema de conexión en el circuito se puede observar en la Fig. 29:

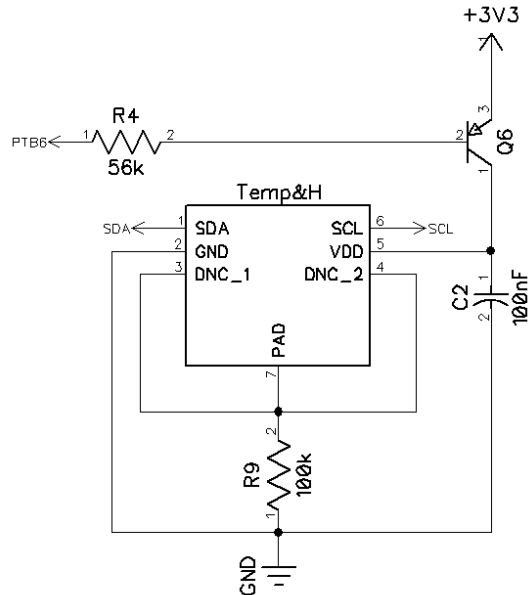


Fig. 29 Esquema de conexión sensor T^a y H.

La conexión al QG8 se realiza a través del puerto I2C siguiendo la guía del fabricante, esquematizada de la siguiente manera:

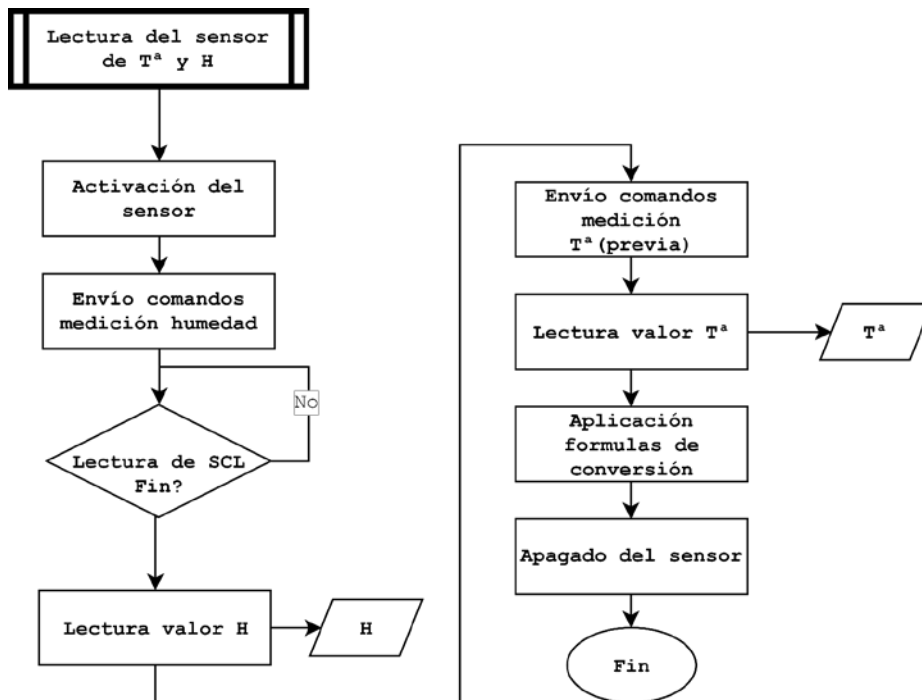


Fig. 30 Rutina de lectura del sensor de T^a y Humedad

Los valores que devuelve el sensor en la comunicación I2C son enteros de 16 bits, a los cuales se les ha de aplicar las siguientes fórmulas para su conversión:

$$\text{Temperature (}^\circ\text{C)} = \frac{175.72 * \text{Temp_Code}}{65536} - 46.85$$

$$\%RH = \frac{125 * RH_Code}{65536} - 6$$

Ecuación 4 Fórmulas de adaptación de Tª y Humedad

El resultado de estas fórmulas son números decimales, sin embargo, la unidad de procesamiento del QG8 no incluye una arquitectura específica para el manejo de punto flotante. Estas operaciones pueden ser realizadas mediante técnicas implementadas por software, no obstante, estas incrementan en gran medida el tiempo de cálculo empleado.

Para esta aplicación y teniendo en cuenta que la precisión en humedad es de un $\pm 5\%$ y en temperatura de $\pm 1^\circ\text{C}$, vamos a realizar las operaciones mediante números enteros, de manera que el resultado tenga una precisión igual en Tª y mayor en Humedad que la precisión global del sensor, por lo que podremos asegurar que realizando esta aproximación no estamos perdiendo información útil.

3.3.3 Medida de la intensidad lumínica

La intensidad lumínica se va a medir para utilizar sus valores de manera combinada con las de radiación UV y estimar el valor de irradiancia [67]. Se va a utilizar un sensor semiconductor resistivo LDR en el nodo externo. Existen también soluciones a partir de fotodiodos o fototransistores que podrían ser aplicables a esta necesidad.

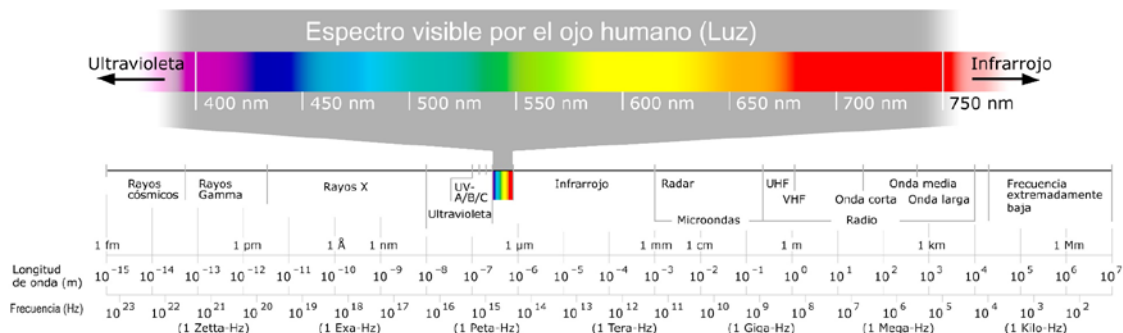


Fig. 31 Espectro electromagnético [68]

La LDR se caracteriza por una variación en su resistencia al incidir luz sobre ella. Son sensibles a un amplio rango de frecuencias que abarcan desde el infrarrojo, la luz visible hasta el ultravioleta (Fig. 32). Se propone utilizar una LDR de tipo CdSe para obtener respuestas correspondientes a frecuencias de luz visible e infrarrojos, de manera que combinado con la lectura de UV explicada

en el siguiente punto, se obtenga información de la mayoría del espectro de irradiación solar (Fig. 38). Tienen un tiempo de respuesta de aproximadamente 100ms, por lo que es importante estabilizar su valor antes de realizar la medición.

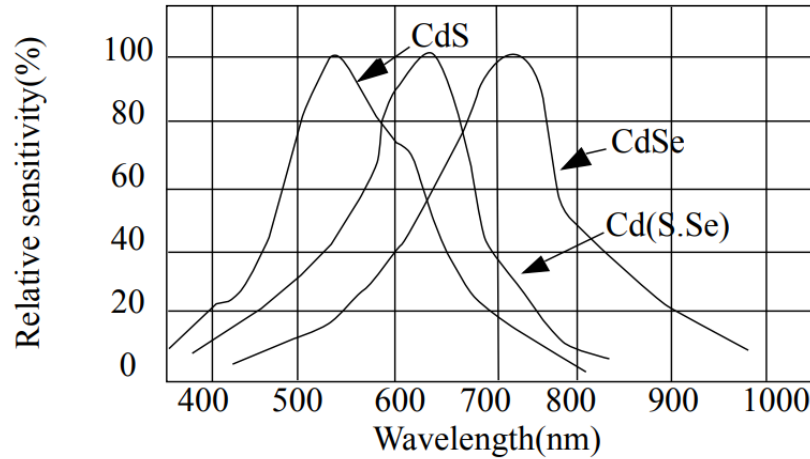


Fig. 32 Sensibilidad de distintas LDR según la longitud de onda de la luz [69]

Se va a realizar un proceso de modelado para convertir la variación resistiva en un valor de medición estándar de la luminosidad; los luxes, como el propuesto por [70].

Se realiza una calibración propia mediante un luxómetro como se muestra en la Fig. 33, registrando los valores de resistencia para diferentes intensidades lumínicas mediante el prototipo desarrollado, desde la oscuridad total hasta una luz directa emitida de manera perpendicular a la superficie del sensor.

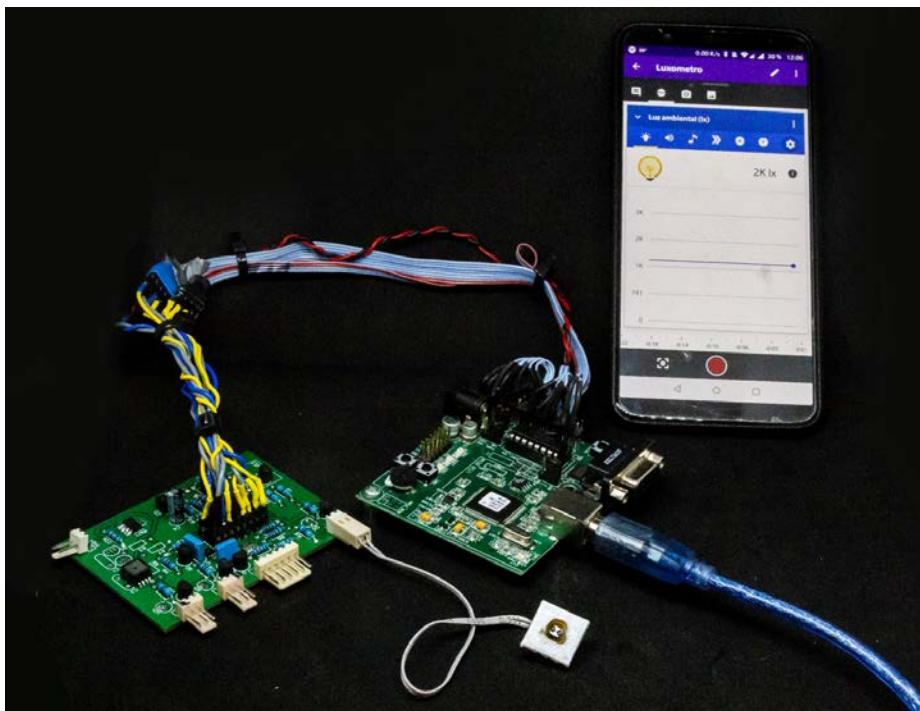


Fig. 33 Configuración del experimento de caracterización del LDR

Como se observa en la Fig. 34, se puede aproximar su comportamiento mediante una expresión potencial:

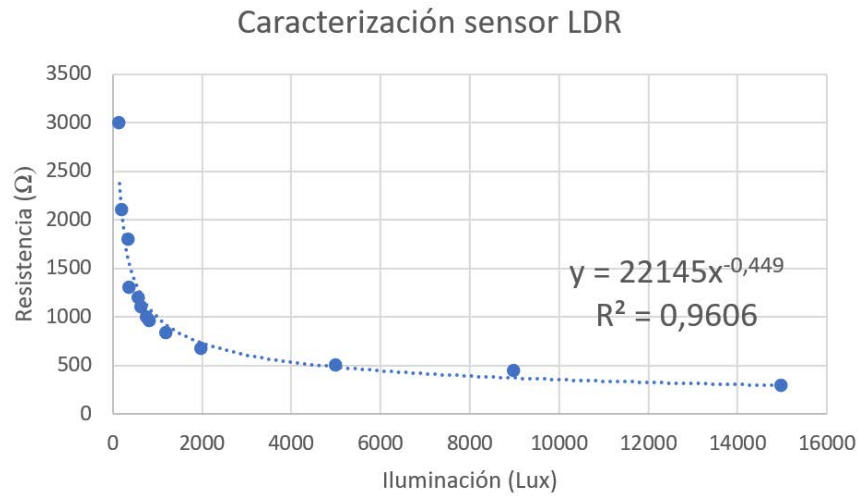


Fig. 34 Caracterización LDR

Como el micro del que se dispone no puede realizar operaciones logarítmicas para resolver la ecuación planteada, se ha codificado mediante una tabla de datos (Fig. 35) para asignar el valor de luminancia mediante una máquina de estados.

Valor AD (bits)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Iluminación (Lux)	40000	16000	7700	4300	2600	1700	1100	770	540	380	270	195	140	100	70	50	30	20	13

Fig. 35 Tabla de valores de iluminación para introducir en el micro

De esta manera, el micro compartirá el valor de iluminación ambiental con un dato de tipo *int* con su valor natural escrito, sin requerir ninguna codificación especial.

El circuito se implementa de la siguiente manera en el nodo externo (Fig. 36):

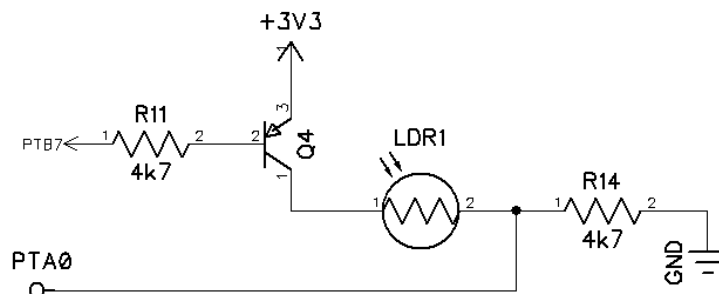


Fig. 36 Esquema de conexión sensor de luminosidad

El esquema de uso de este sensor queda definido de la siguiente forma:

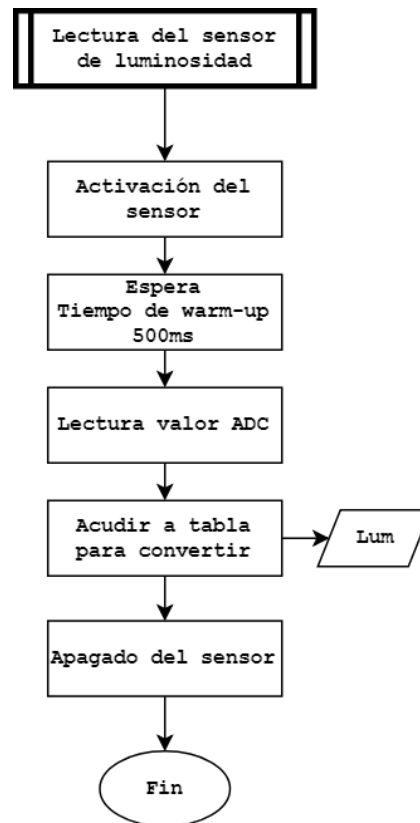


Fig. 37 Rutina de lectura del sensor de luminosidad

3.3.4 Medida del índice UV

Como se ha adelantado en el punto anterior, la finalidad de la inclusión de este tipo de sensores es conseguir una lectura de la irradiancia solar sobre la superficie terrestre lo más precisa posible, teniendo en cuenta que es un proyecto de bajo presupuesto. La irradiación solar (Fig. 38) representa la cantidad de potencia incidente sobre una superficie, para todo tipo de radiación electromagnética.

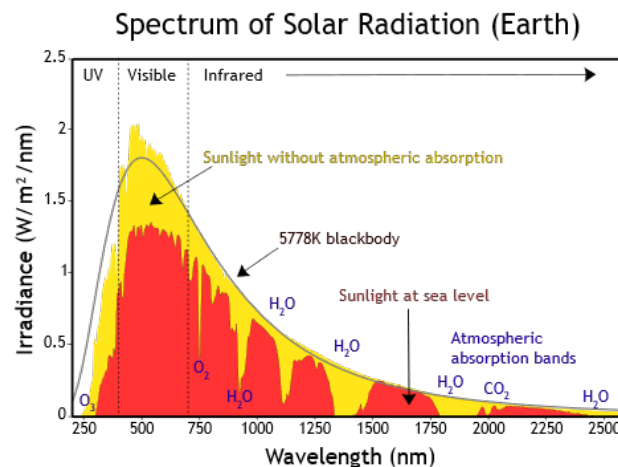


Fig. 38 Espectro de irradiación solar [67]

La medida de la irradiancia resulta interesante para realizar modelos térmicos puesto que aporta información del calor por radiación que la vivienda está recibiendo en función de la irradiancia solar.

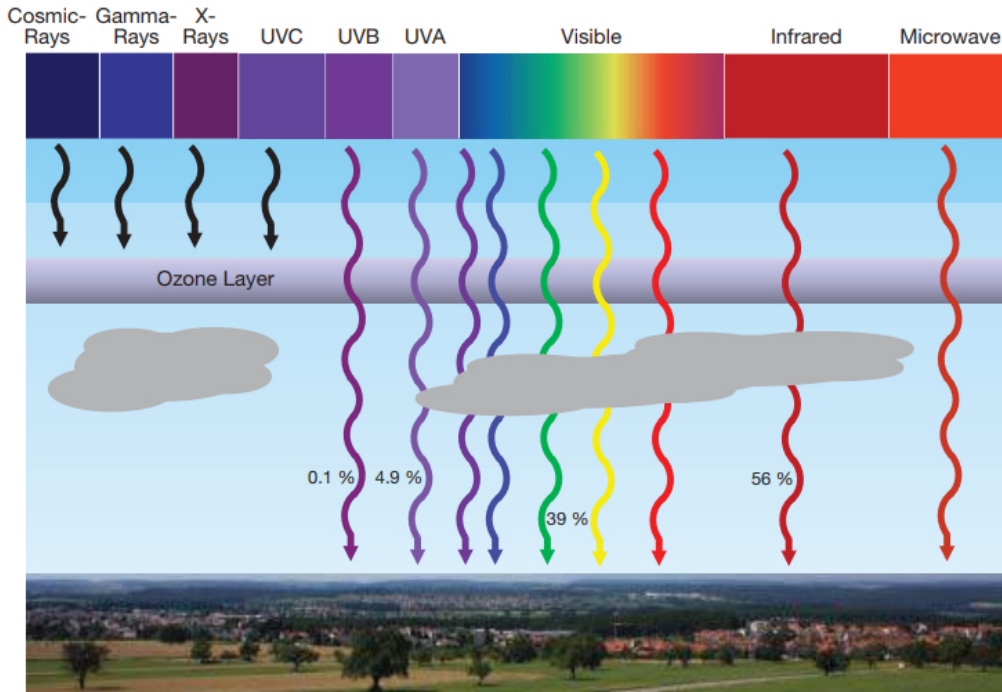


Fig. 39 Absorción terrestre de varios tipos de onda. Datasheet del sensor.

Como se observa en la Fig. 39, la mayor absorción energética se corresponde con la zona del espectro UVA, luz visible e IR. Además, tener una medición aislada de las longitudes de UVA nos permitirá aportar como funcionalidad extra la relación del índice UV (Fig. 40).

E_e (W/m ²)	Strength of Irradiance	UV-Index
0.3	Extreme	12
		11
0.2	Very High	10
		9
0.1	High	8
		7
0.1	Moderate	6
		5
0.1	Low	4
		3
0.1	Low	2
		1

Fig. 40 Índice UV y relación con la irradiancia

El sensor elegido para la medición de la intensidad UV es el VEML6070 de Vishay. Se trata de un sensor digital con conexión I2C con su pico de respuesta centrado en los 355nm. Tiene una resolución de 16 bits y una detección máxima de 328mW/cm². Hay que remarcar que se trata de un sensor prácticamente unidireccional (Fig. 41), por lo que sus mediciones dependerán de la orientación en la instalación. Más información en el Anexo VI. Datasheet Sensor UV.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

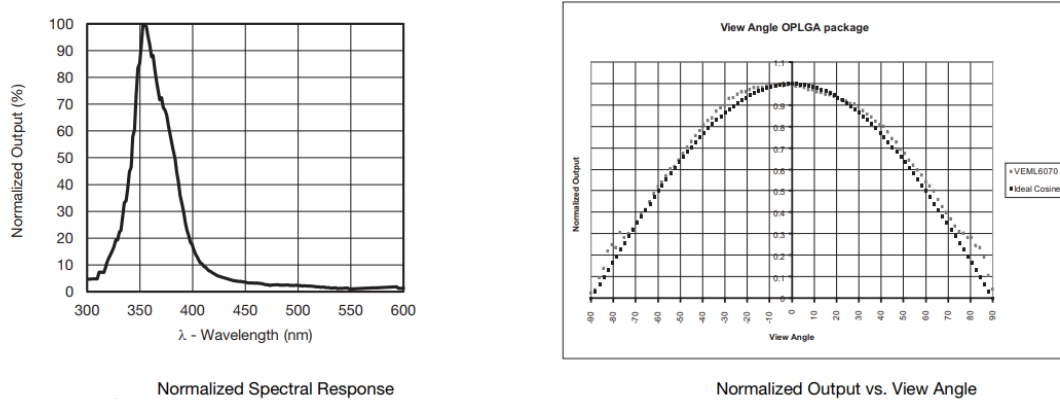


Fig. 41 Características del sensor de UV

El fabricante no proporciona una fórmula de conversión del valor digital leído a irradiancia directamente, puesto que este sensor sólo está leyendo la potencia por unidad de superficie de una determinada longitud de onda, sin embargo, proporciona una relación de la salida digital con el índice UV (Fig. 40). El sensor requiere una configuración *analógica* por medio de la resistencia R_{SET}. Y digitalmente se ha de definir el tiempo de medición. Cuanto más tiempo de integración se permita al sensor, mayor precisión en la lectura conseguiremos. En esta aplicación se ha seleccionado una R_{SET} de 1MΩ y un tiempo de medición de 4T, que se corresponde con las siguientes relaciones (Fig. 42):

UVI	R _{SET} = 1 MΩ; IT = 4T	UV-INDEX
0 to 2	0 to 8964	Low
3 to 5	8965 to 17 928	Moderate
6, 7	17 929 to 23 904	High
8 to 10	23 905 to 32 868	Very High
≥ 11	≥ 32 869	Extreme

Fig. 42 Relación del valor digital con el índice UV

Cada paso del índice UVI corresponde con una irradiancia de 25 mW/m² [71], por lo que podremos aproximar la irradiancia mediante la medida del mismo.

Cabe decir que esta solución proporciona unas mediciones aproximadas y que no se han corroborado empíricamente. Existen muchos otros factores que afectarán a las medidas realizadas, entre otras: la posición del sensor o la

protección de cristal que se instale delante. Para el desarrollo de estas mediciones se han tomado como referencia los estudios [72]-[74]. Otras opciones estudiadas son la realización de la medición de dos longitudes de onda mediante diodos LED [75] o la medición de la irradiancia mediante placas solares [76]. Debería tenerse en cuenta que en la instalación del sensor que se realice, no se intercale ninguna capa que detenga la llegada de los rayos UV, es decir, se ha de elegir un cristal o protección que no obsorva las radiaciones correspondientes a estas longitudes de onda.

La conexión de este sensor al microprocesador se hace mediante los puertos I2C:

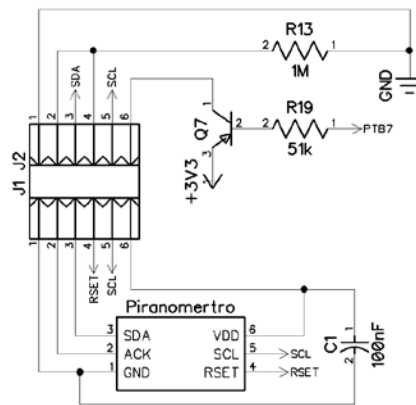


Fig. 43 Esquema de conexión sensor de UV

El esquema de uso de este sensor queda definido de la siguiente forma:

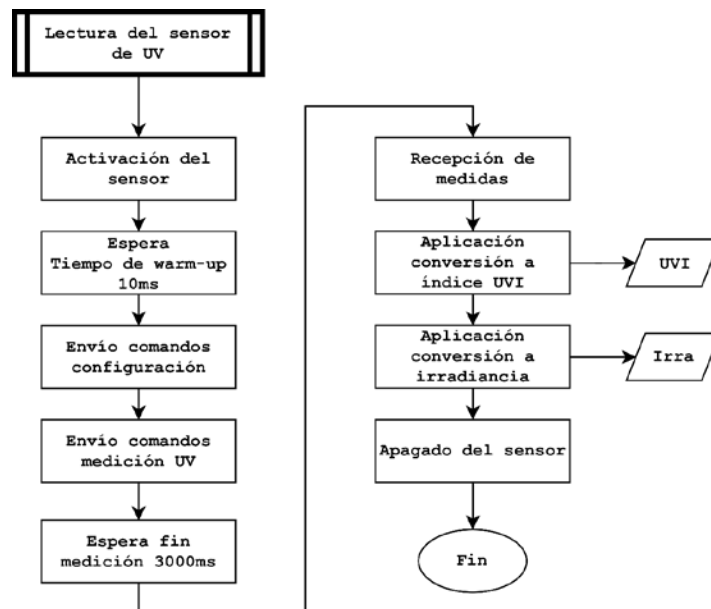


Fig. 44 Rutina de lectura del sensor de UV

El valor de UVI irá de 0 a 11 y el de irradiancia tendrá un valor de $UVI * 25 \text{ mW/m}^2$.



3.3.5 Medidas de la velocidad y dirección del viento

En las unidades exteriores se desea medir la velocidad y dirección del viento para en trabajos posteriores poder aproximar los coeficientes de convección que afectan a la vivienda. Existen diversos tipos de tecnologías para la medición de la velocidad del viento:

- **Anemómetros de cazoleta:** Se trata del diseño clásico, el más utilizado por su simplicidad y aporta suficiente exactitud para la mayoría de las aplicaciones. Su funcionamiento produce medidas falseadas en la medición de rachas de aire no continuas, conocido como efecto de sobrevelocidad. Su funcionamiento se analiza en [77] y [78].
- **Anemómetros de empuje:** Utiliza la fuerza resultante en una superficie de un péndulo elevándolo un determinado ángulo proporcional al viento existente. No son elementos de gran precisión.
- **Anemómetros hidrodinámicos:** Como el tubo de Pitot, se basan en la diferencia de presiones producida en un recipiente con dos aberturas, una perpendicular al movimiento del viento y otra en reposo.
- **Anemómetros ultrasónicos:** Utilizan pulsos electromagnéticos enfrentando emisores y receptores ultrasónicos para comprobar el efecto de las perturbaciones por el viento en su propagación. Son más precisos y permiten determinar también la dirección del flujo, sin embargo, su construcción y control es mucho más complejo. Se proponen ejemplos de construcción y análisis en [79]-[83].
- **Anemómetros de hilo caliente:** Se basan en principios termodinámicos, controlando el calentamiento de un hilo cuya constante térmica es conocida, para despejar el coeficiente de convección. Requieren un circuito de adaptación complejo y su consumo elevado ya que hay que calentar el hilo, se propone su utilización en [84].

Pese haber analizado y realizado aproximaciones al método de anemometría por hilo caliente a temperatura constante, se optó por la implantación de un anemómetro de cazoletas clásico y un sistema complementario de veleta para registrar tanto la velocidad como la dirección del flujo de aire en el exterior.

La digitalización de anemómetros de cazoleta tiene diversas variantes, se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante potenciómetros continuos asociados al movimiento de las cazoletas, con contactos de rozamiento giratorios, con *encoders* ópticos y muchas otras opciones. Para el desarrollo se ha optado por un diseño con una base de interruptores magnéticos (*reed switch*) y un eje giratorio imantado, capaz de activar los relés *reed*. Se diseñó en 3D los elementos mecánicos y se imprimieron mediante tecnología de adición de plástico PLA con una impresora 3d. Los planos de las piezas diseñadas se

muestran en el Anexo VII. Planos Anemómetro y Veleta. Se puede ver el resultado en la Fig. 45.



Fig. 45 Diseño del anemómetro

En el anemómetro se ha situado en la base un sensor magnético que dan un pulso cada vez que el eje pasa por él. La precisión, por tanto, es de un pulso por vuelta. El microprocesador se va a configurar para medir la frecuencia del pulso en un determinado lapso temporal, de manera que se puede despejar su velocidad a partir de la velocidad angular, como se ve en la Ecuación 5.

$$\begin{aligned}
 v &= w * r = 2\pi * f * r = 2\pi * \frac{\text{pulsos}}{\text{tiempo}} * r = 2\pi * r * \frac{\text{pulsos}}{1s} = \\
 &= 2\pi * 20\text{mm} * \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} * \frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{\text{pulsos}}{1s} \approx \\
 &\approx 0.45 * \frac{\text{pulsos}}{\text{h}}
 \end{aligned}$$

Ecuación 5 Cálculo de la velocidad del anemómetro

Donde v es la velocidad lineal, w es la velocidad angular y r es el radio.

Se ha elegido un lapso de medición de 1 segundo, limitando la velocidad mínima detectable debido al software en 0.126 m/s (0.452 km/h) y la máxima teórica utilizando 8 bits sería de 32 m/s (115 km/h). Con este valor, la fórmula se puede multiplicar por 100 tal que:

$$v = 45 * \frac{\text{pulsos}}{\text{h}} = 12345 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Ecuación 6 Hipótesis de la velocidad del anemómetro

Donde la velocidad se interpretaría como 123,45 km/h.

Se ha comprobado la velocidad mínima de detección del prototipo planteado en un túnel de viento, comparando su medición con un tubo de Pitot

y (Fig. 47, Fig. 48), es de 0.22 km/h debido a los rozamientos mecánicos. Aplicando el coeficiente correspondiente para detectar esa velocidad mínima, la velocidad máxima sería de 57 km/h. Detectar esta velocidad requeriría un tiempo de medición mayor, por tanto, hemos ajustado los coeficientes para que el tiempo de medida se ajuste a esta velocidad mínima. Queda entonces un tiempo de medición de 2 segundos para detectar un pulso. La expresión queda definida entonces como se presenta en la Ecuación 7 A su vez, consultando datos meteorológicos históricos, se observa (Fig. 46) que la velocidad del viento máxima media en Zaragoza en el periodo 2000-2010 no superó los 45 km/h.

$$v = 22 * \text{pulsos} \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Ecuación 7 Ecuación de la velocidad del anemómetro

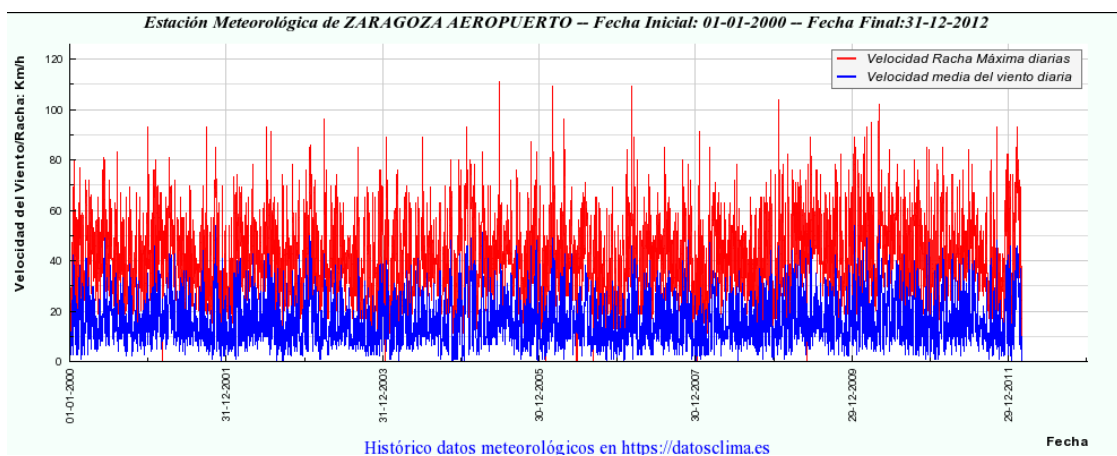


Fig. 46 Velocidades del viento históricas en Zaragoza 2000-2012



Fig. 47 Túnel de viento para caracterizar el anemómetro



Fig. 48 Medición de velocidad mínima mediante tubo de Pitot

El esquema de conexionado del prototipo es el siguiente:

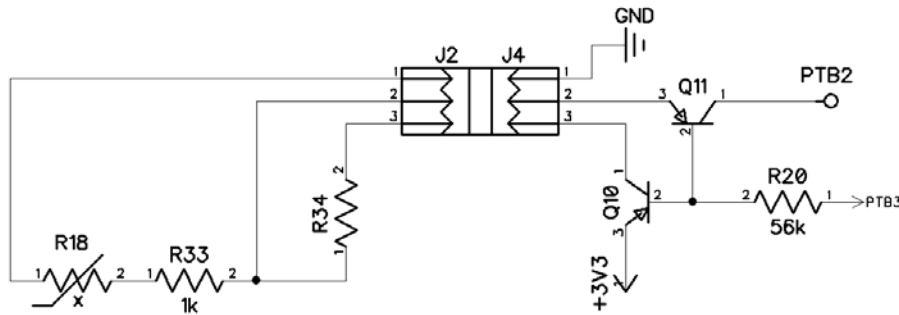


Fig. 49 Esquema de conexión sensor de velocidad del viento

Las mediciones se realizarán cada minuto, de manera que el resultado que se enviará en cada conexión al servidor será la media de mediciones realizadas en ese intervalo. El control del sensor en cada medida se hará de la siguiente forma:

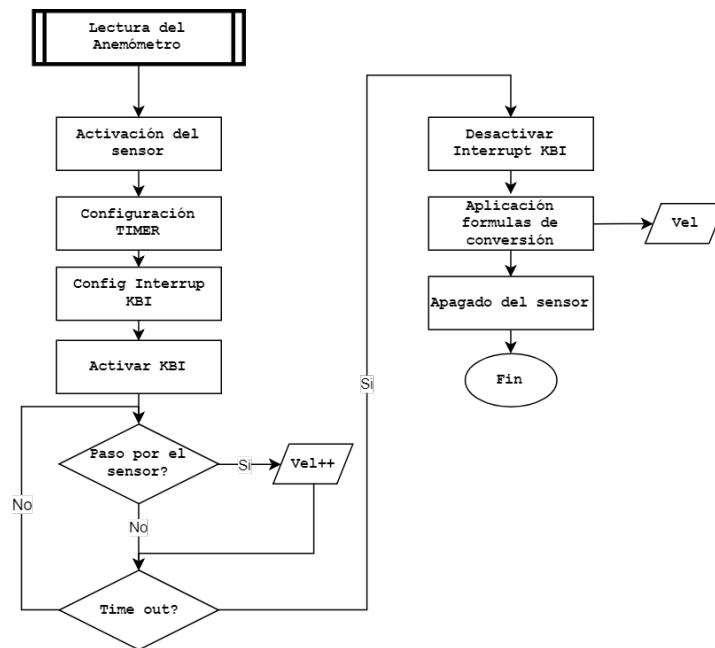


Fig. 50 Esquema de conexión del anemómetro



Fig. 51 Diseño de la Veleta

Para la veleta se ha aprovechado el mismo sistema que para el anemómetro (Fig. 51), pero en vez de tener sólo un relé, se han incluido 8 para diferenciar 8 orientaciones espaciales (Fig. 52). Cada relé se ha configurado con una resistencia distinta, de manera que el divisor resistivo resultante aproveche todo el rango del conversor AD del micro como se especifica en la Fig. 53.

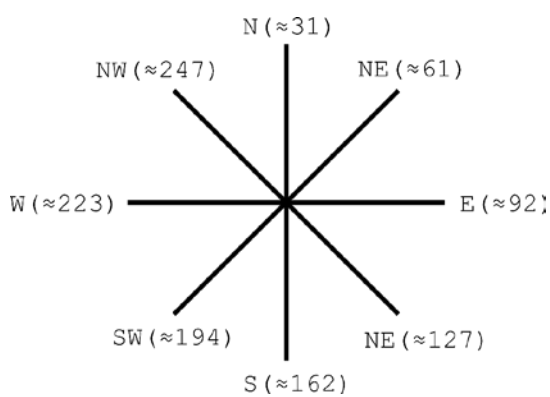


Fig. 52 Orientaciones de la veleta y su valor digital

Dirección	Tensión (División en octavos)	Resistencia necesaria	Valor digital
N	0,4V	680Ω	31
NE	0,8V	1,5kΩ	61
E	1,2V	2,7kΩ	92
SE	1,6V	4,7kΩ	127
S	2V	8,2kΩ	162
SW	2,4V	15kΩ	194
W	2,8V	33kΩ	223
NW	3,2V	150kΩ	247

Para una resistencia de base en el divisor de 4,7kΩ

Fig. 53 Tabla de resistencias de la veleta

El conexionado del sensor se hará como se indica en la Fig. 54. Se incluye un transistor para multiplexar la entrada del micro, con el método explicado en 3.3.3.

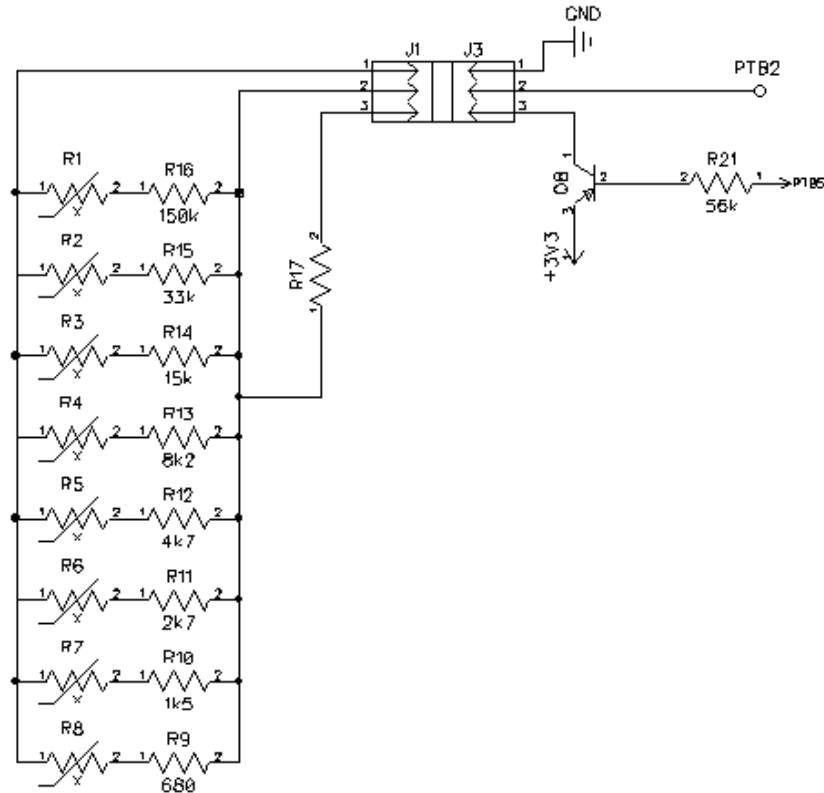


Fig. 54 Esquema de conexión sensor de dirección del viento

Se guardará una tabla de valores 'char' correspondientes a cada dirección para asignar a la variable de posición.

3.4 Alimentación del sistema

Los nodos de la red van a tener diferentes necesidades energéticas según su colocación, por esto mismo, se ha considerado diseñar nodos autónomos con un sistema de generación energética (como se explica en el apartado 3.4.2) y nodos dependientes de la red eléctrica.

Para los nodos internos se ha seleccionado una fuente Buck que establece una tensión de bus de continua de 5V. Tiene una potencia de salida máxima de 3W (Fig. 55). Ha sido seleccionado debido a sus reducidas dimensiones y bajo coste, sin embargo, no tiene ningún tipo de certificación sobre su seguridad para la red ni para los usuarios.

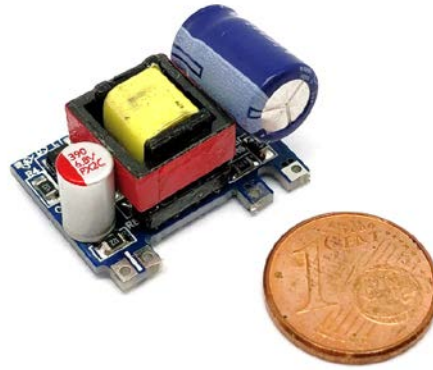


Fig. 55 Fuente Buck seleccionada

3.4.1 Estudio energético

Para poder dimensionar las baterías necesarias en los módulos externos se ha realizado una medición de los consumos en cada una de las fases de medición y de transmisión por parte de la estación externa:

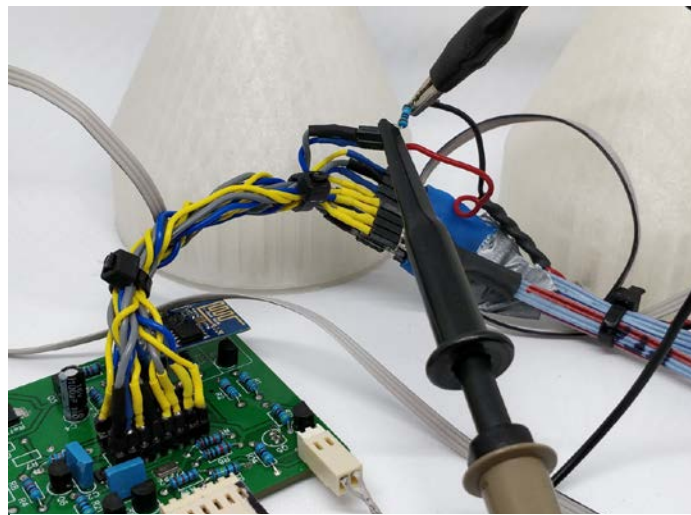


Fig. 56 Configuración del estudio energético

Para este proceso se ha utilizado una resistencia de *shunt* en la línea de masa de la alimentación del prototipo (Fig. 56), monitorizando su tensión mediante osciloscopio para despejar la corriente media y medir el tiempo. El proceso ejecutado se ha controlado desde el software de programación del microprocesador para poder realizar mediciones separadas en cada una de las mediciones y transmisiones.

Sección de la rutina	Duración	Corriente media	Ponderación
Espera en bajo consumo	300s	6 μ A	1,8mAs
Medida presión	350ms	6,5mA	2,275mAs
Medida humedad y temperatura	750ms	5,3mA	3,975mAs
Medida LDR	600ms	4mA	2,4mAs
Medida UV	4,7s	3,8mA	17,86mAs
Medida velocidad del viento	1,1s x5	4mA	22mAs
Medida dirección del viento	630ms	4mA	2,52mAs
Transmisión al ESP8266	510ms	87mA	44,37mAs
Transmisión al servidor	3,8s	113mA	429,4mAs
TOTAL:	316,84s		526,6mAs

Fig. 57 Estudio energético del nodo exterior

El consumo del microprocesador en modo de espera se ha tomado de la referencia del datasheet, ya que, al utilizar la placa de desarrollo, su alimentación está diferenciada a la del prototipo. Para el consumo de transmisión se ha realizado una medición aparte, ya que la placa de desarrollo no es capaz de suministrar la corriente necesaria para el funcionamiento del módulo wifi.

El estudio aproximado arroja un valor de consumo medio de 1.66mA. Este valor se tomará como referencia en el siguiente apartado para el dimensionado de las baterías y las placas solares necesarias.

3.4.2 Módulo de generación solar y recarga de baterías

Al requerir una fuente de alimentación independiente para los nodos externos de la plataforma, se plantea la posibilidad de realizar una configuración de generación solar. A este efecto, se requieren varios elementos: una fuente de generación: placa solar, una batería para el almacenamiento de la energía, un gestor de carga para la batería y un regulador de tensión para asegurar un bus de alimentación lo más estable posible.

Existen varios tipos de placas solares, los más comunes se son [85]:

- **Placas monocristalinas:** se componen de varias células independientes, que se estructuran para aportar una tensión y corriente mayores. Se trata de las más eficientes (15-20%). Están fabricados mediante células de silicio monocristalino.

- **Placas policristalinas:** su fabricación es a partir de silicio policristalino, son más económicas pero su rendimiento es menor. Su tolerancia térmica es menor. Se utilizan para instalaciones de gran tamaño.

En el caso de estudio se ha optado por utilizar células monocristalinas de 1.5V cuando se encuentran expuestas al Sol. Como el sistema trabaja con una tensión de 3.3V, las baterías que se seleccionarán han de tener una tensión nominal de 3.7V y su recarga se realizará con una tensión de 5V. Por tanto, se utilizarán 4 células en serie para obtener la tensión deseada.

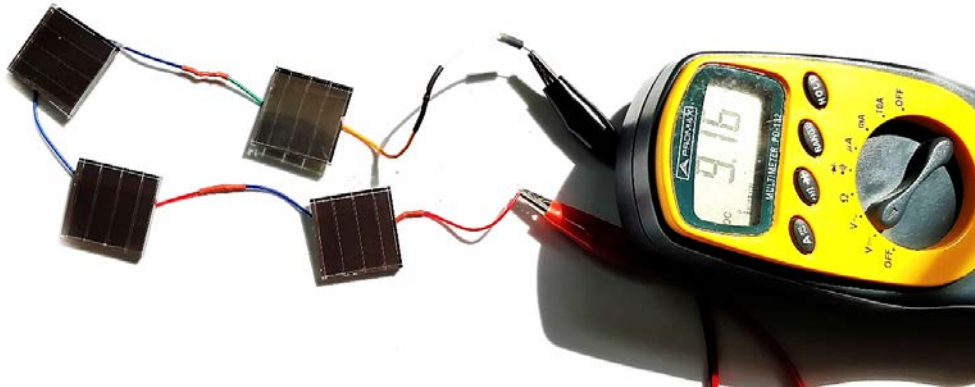


Fig. 58 Tensión de 9V en vacío en las placas solares

A la hora de seleccionar un cargador existen dos opciones principales [86]:

- **Cargadores lineales:** funcionan como un regulador de corriente y adaptan la tensión de las placas solares para compatibilizarla con la de la batería, (Fig. 59) dependiendo la corriente de carga del máximo del regulador y del disponible debido a la exposición solar. Utilizan tecnología PWM.

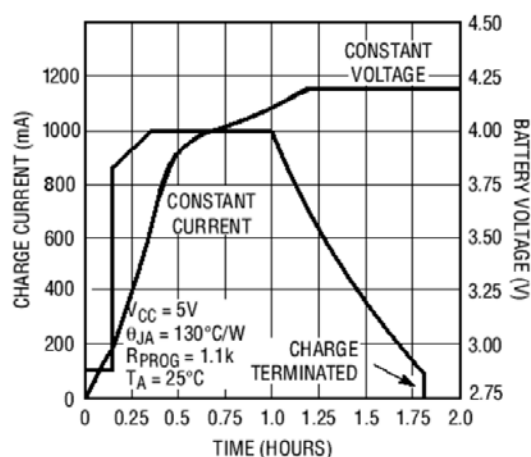


Fig. 59 Ciclo de carga de una batería de 1000mAh con el regulador TP4056

- **Cargadores MPPT:** (Maximum Power Point Tracking) buscan el punto donde la corriente de carga maximiza la potencia entregada a la batería en la carga. Son más eficientes, pero su control y coste son mayores.

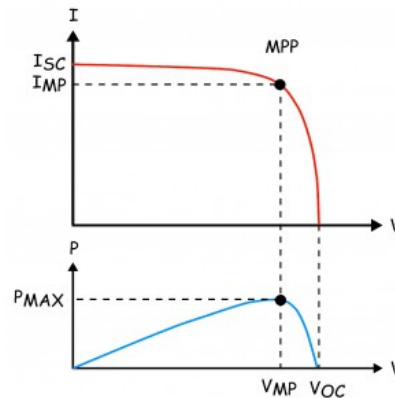


Fig. 60 Punto de máxima potencia en la carga de baterías [87]

Para las aplicaciones de muy baja potencia, como la planteada, se hace despreciable la mejora en la eficiencia de los cargadores de tipo MPPT, por lo que se ha seleccionado un cargador lineal, el TP4056 de NanJing Top Power. Se trata de un módulo de carga de tensión nominal de 5V y corrientes hasta un amperio. Incluye un módulo de protección que desconecta la carga de la batería si esta baja por debajo de los 2.5V y una protección de sobrecorriente de 3A. Únicamente utilizable con baterías de tipo Li-ion.

Para el dimensionado de la batería se han tenido en cuenta factores como la ubicación del dispositivo (Fig. 61) y las horas solares en esta localización (Fig. 62).

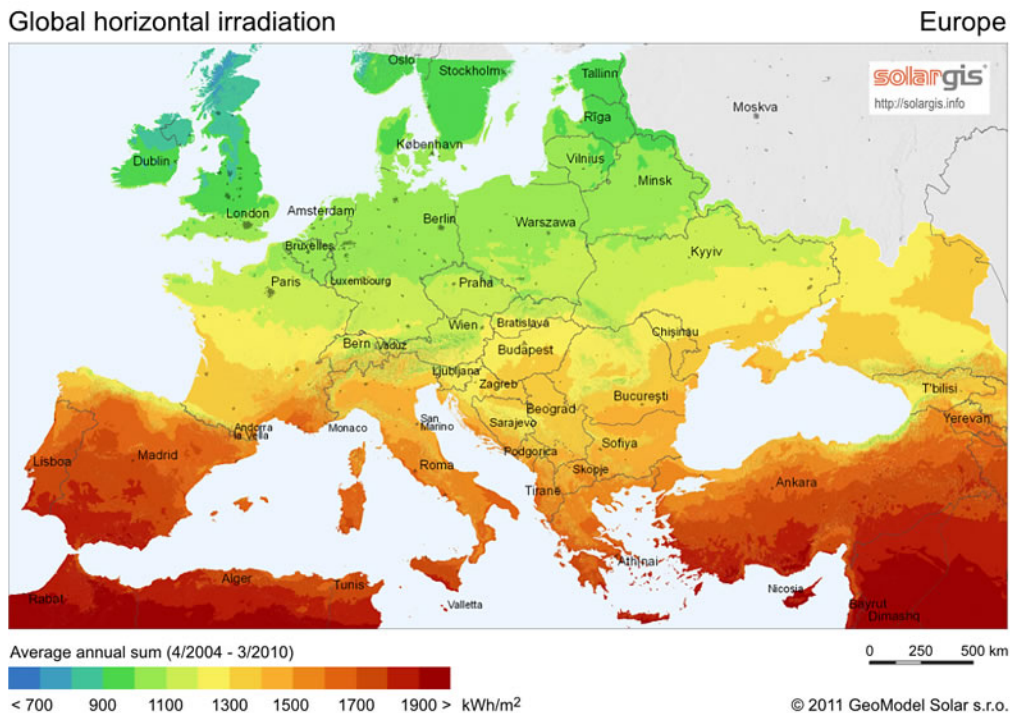


Fig. 61 Mapa de irradiación solar en Europa, 2011 [89]

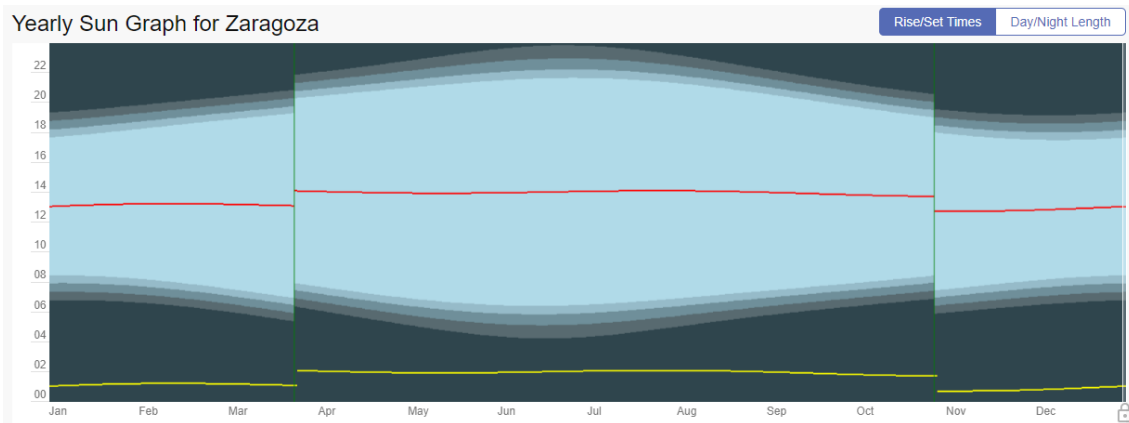


Fig. 62 Evolución de las horas de luz solar en Zaragoza durante el año [88]

Para este cálculo se ha utilizado una fuente que aporta datos de irradiancia media mensual en una ubicación concreta:

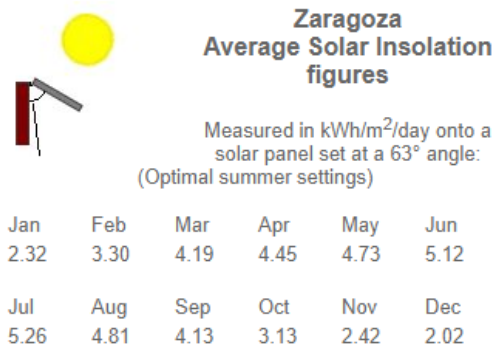


Fig. 63 Irradiación media en Zaragoza por meses

Realizaremos el cálculo con el mes de menos recepción solar, diciembre con 2.02 kWh/m² diarios.

Las células solares seleccionadas tienen unas dimensiones de 25x25mm y suponiendo que su eficiencia ronda el 15%, se puede aproximar que se obtendrá:

$$Pot_{recarga\ diaria} = 2020 \frac{Wh}{m^2} * (0.025\ m)^2 * 4\ celdas * 0.15 = 0.75Wh$$

Ecuación 8 Potencia mínima recolectada diaria

Del estudio energético realizado, se observaba que el consumo del sistema es aproximadamente 1.66mA, por lo que cada día se consumirá:

$$Pot_{consumida\ diaria} = 1.66mA * 3.3V * 24h = 0.13Wh$$

Ecuación 9 Potencia consumida media

Este es un cálculo muy aproximado donde no se han incluido las pérdidas en el regulador o la referencia de tensión, pero permite realizar una aproximación al dimensionamiento del sistema. Para no depender de la energía solar instantánea, en horas nocturnas o de días nublados, se va a dimensionar la batería de la siguiente manera:

Si seleccionamos una batería Li-ion de 600mAh (utilizadas en drones recreativos), la autonomía que el sistema tendrá será:

$$\text{Autonomía} = \frac{600\text{mAh}}{1.66\text{mA}} = 361\text{h} = 15 \text{ días}$$

Ecuación 10 Cálculo de la autonomía del sistema

Un valor suficiente para poder mantener el sistema encendido sin requerir otra fuente de energía externa.

Para la regulación del bus de continua se ha seleccionado una referencia de tensión de 3.3V, un *dropout* de 100mV a 200mA y una tolerancia del 2.5%. Se trata del modelo LP38690 de Texas Instruments.

4. Comunicaciones y gestión de los datos registrados

4.1 Transmisión al módulo de comunicaciones

Las medidas registradas se almacenan como variables globales dentro del QG8. Una vez ha terminado el ciclo de mediciones, se transmiten al módulo Wifi mediante una comunicación serial. Se ha programado un protocolo propio que sigue el siguiente esquema:



Fig. 64 Esquema de comunicación QG8-ESP8266

Al encender el módulo wifi se deja un tiempo de inicialización y se procede a enviar los datos en cadena. Tras cada transmisión, el módulo wifi comprueba si el dato recibido se encuentra en el rango esperado y envía un bit de vuelta al procesador central.

La codificación del control de todos los sensores, explicada en el apartado 3.3 se encuentra en el Anexo VIII y las recepciones desde el módulo wifi en el Anexo IX.

4.2 Recepción de datos

Para la transmisión de las mediciones desde el módulo wifi se va a utilizar el protocolo MQTT, analizado en el punto 2.3.3. Como servidor central se ha elegido un *miniordenador* Raspberry Pi Zero W [91] con conexión wifi, 512Mb de RAM, un procesador a 1GHz y memoria externa mediante microSD.

La comunidad de desarrollo del módulo ESP8266 ha implementado una librería [92] que implementa todos los detalles de comunicación y únicamente requiere especificar el *tema* en el que se va a publicar el dato. Permite configuración con autenticación y recepción de ACK por parte del servidor central. Los detalles de configuración y los procesos de conexión se detallan en

el Anexo IX. El módulo ESP8266 se ha programado mediante el IDE de Arduino y un adaptador de conexión serial.

Para la recepción de los mensajes publicados por los nodos se ha instalado un *bróker* llamado Mosquitto, desarrollado por Eclipse [93]. Es un software que funciona en el servidor central y funciona escuchando de manera continua los mensajes de la red esperando mensajes de los *temas* que se le han configurado. Una vez detecta y recibe un dato, este es introducido en un software de base de datos (explicado a continuación) con el que esta interconectado. Los detalles de configuración y funcionamiento se encuentran en el Anexo X.

4.3 Almacenamiento de datos

Los datos que se reciben desde los nodos por medio del *bróker*, se almacenan en una base de datos en el servidor central. El software de gestión elegido es InfluxDB. Una base de datos temporal desarrollada por InfluxData [45]. Funciona en lenguaje SQL y cada dato se escribe de la siguiente manera:

```
medida(tag_key=ETIQUETA)*field_key=CAMPO (,field_key_n=VALOR)* (TIEMPO)
```

Los detalles de instalación y configuración del sistema se encuentran en el Anexo X.

4.4 Análisis, uso y acceso a los datos

Se ha configurado un sistema de monitorización de datos en el servidor central para su visualización. Se trata de Grafana [62], permite la comunicación en tiempo real con la base de datos de InfluxDB y ofrece paneles personalizables para distintas series de datos y alertas configurables en función de los valores alcanzados por las variables.

Es una plataforma de diseño adaptable (*responsive design*) que permite su visualización desde dispositivos con características distintas. Se ha configurado un panel con las lecturas del módulo externo (Mediciones cada 15s, Fig. 65).



Fig. 65 Captura de la plataforma implementada

5. Prototipo implementado

En este apartado se exponen los prototipos construidos y el funcionamiento global del sistema hardware/firmware/software.

5.1 Unidad exterior

Para el prototipo final se ha fabricado una PCB cuyos planos y esquemático se adjuntan en el Anexo XI. Como su instalación se va a realizar en el exterior, se ha diseñado una carcasa Stevenson [94] que albergará la PCB y el sistema de energía. Sus planos se encuentran en el Anexo XII.

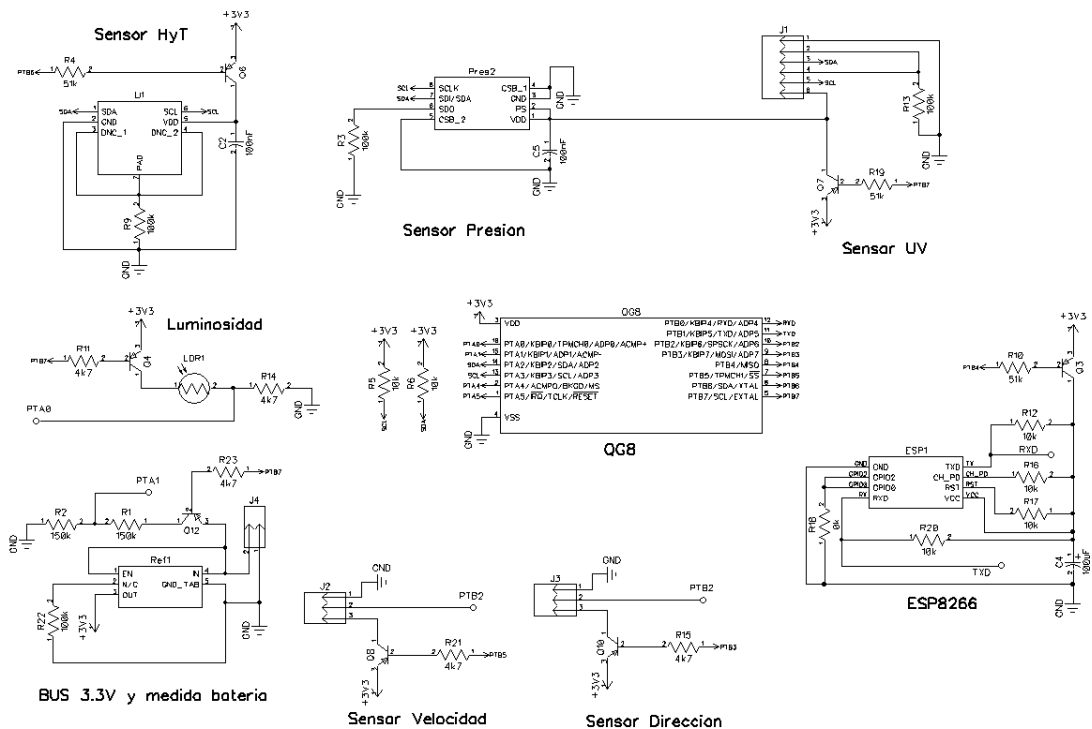


Fig. 66 Esquema general de la unidad exterior

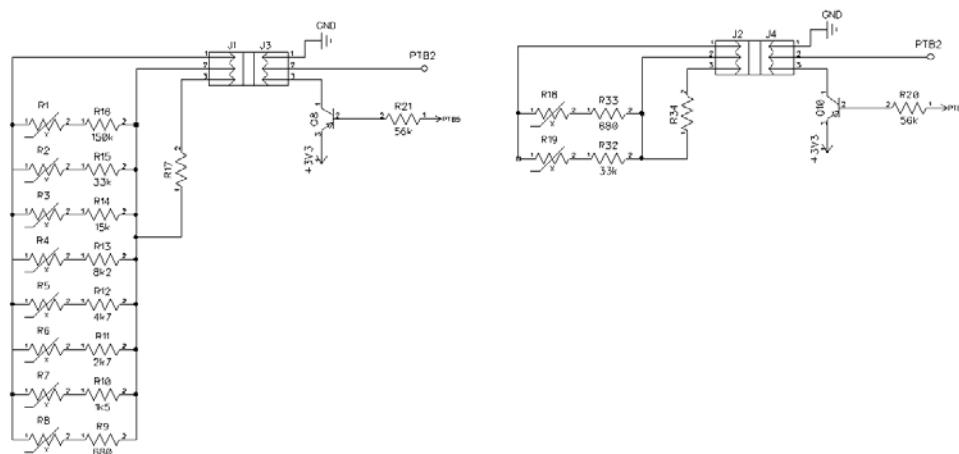


Fig. 67 Esquema de las unidades de Veleta y Anemómetro exteriores

En la primera etapa de diseño se construyó un prototipo para la conexión de varios sensores a la placa de desarrollo del QG8 que permitió realizar pruebas con los protocolos de conexión del mismo. Se puede ver a continuación:

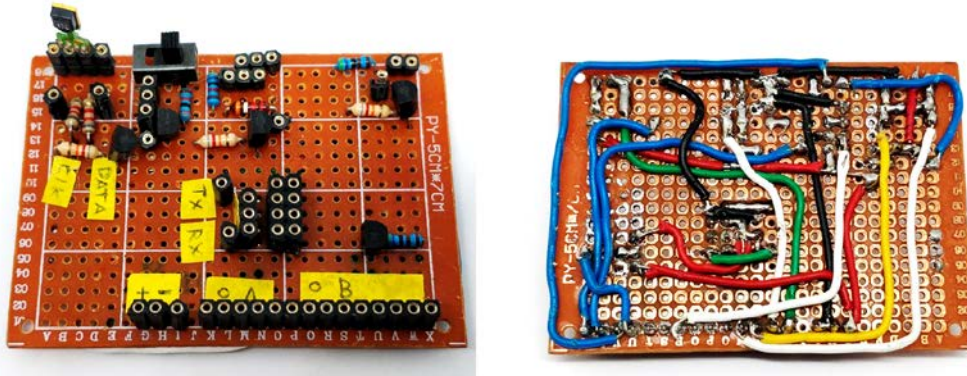


Fig. 68 Primer prototipo implementado

Una vez comprobado el funcionamiento de los sistemas a implementar, se diseñaron dos PCB externas y una interna (Planos adjuntos en el Anexo XI). Las dos externas corresponden al piranómetro y al diseño del nodo externo.

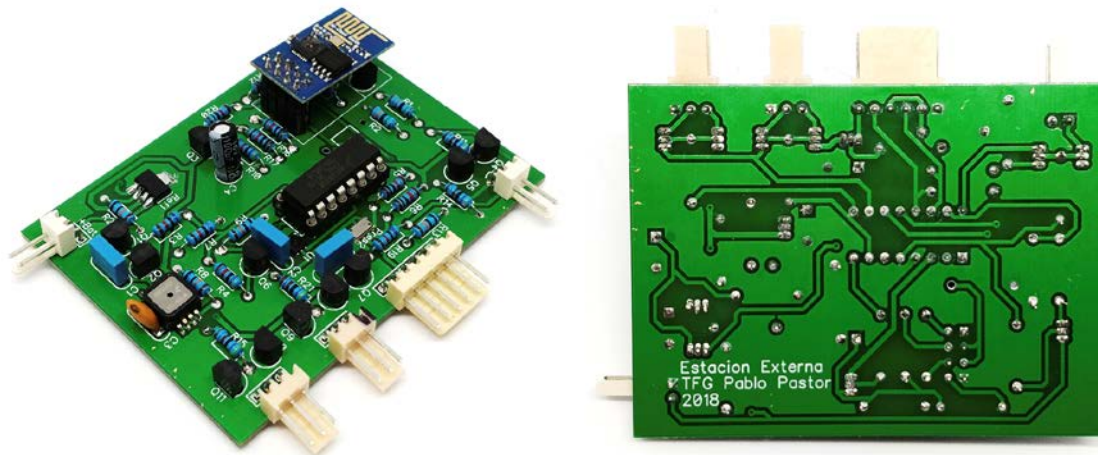


Fig. 69 Prototipo final de la unidad exterior

Las PCB se mandaron a la empresa JLPCB para su fabricación, obteniendo varias unidades de cada uno de los diseños para implantar la red en una vivienda real en el futuro.

Para realizar las configuraciones de los sensores SMD que no se pudieron probar con la primera placa de pruebas se confeccionó una *manguera* de conexiones entre la placa de prototipado del micro QG8 a la PCB diseñada. Este método permitió también realizar las mediciones de consumo anteriormente nombradas.

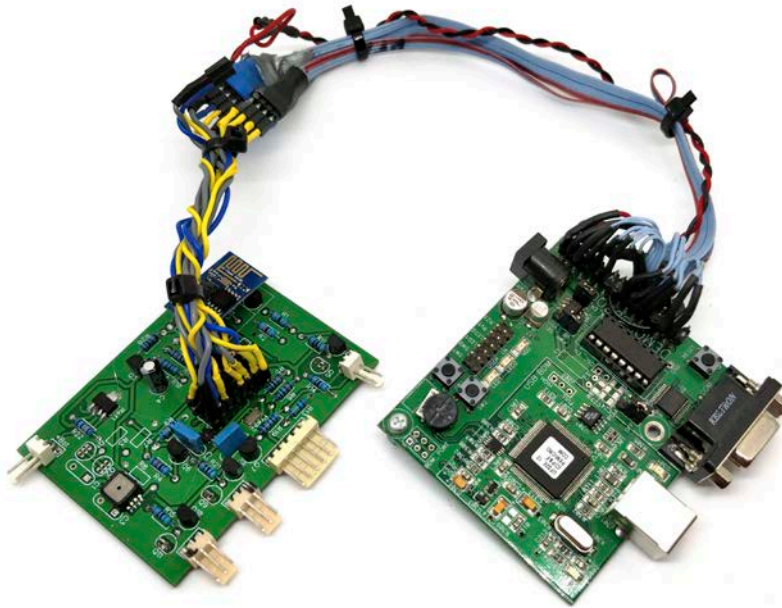


Fig. 70 Manguera de conexión para la placa de desarrollo

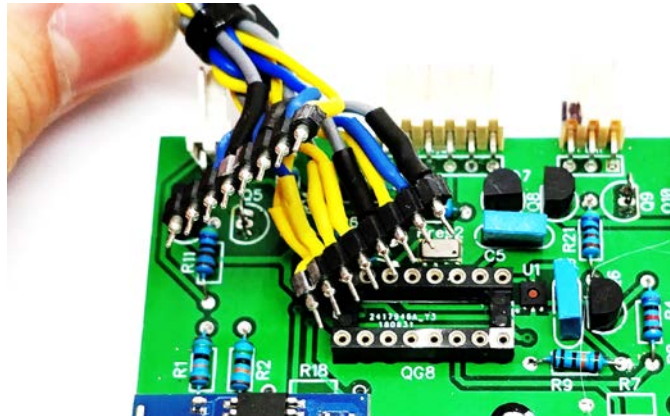


Fig. 71 Detalle de la manguera para la placa de desarrollo

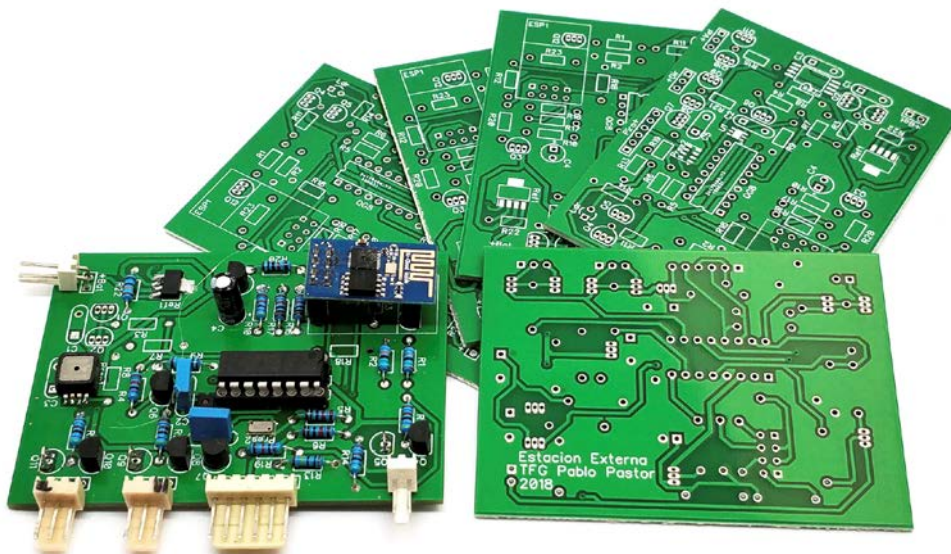


Fig. 72 Conjunto de las PCB disponibles para su futura instalación

La carcasa Stevenson diseñada a medida incluye en su interior las placas solares, el sensor LDR y el sensor UV así como el sistema de carga y la batería. Tiene orificios laterales para ventilar el prototipo y no medir sobrecalentamientos excesivos. Los planos de la misma se incluyen en el Anexo XII. La PCB se inserta de manera vertical en la carcasa.



Fig. 73 Detalle del montaje de los distintos elementos en la carcasa

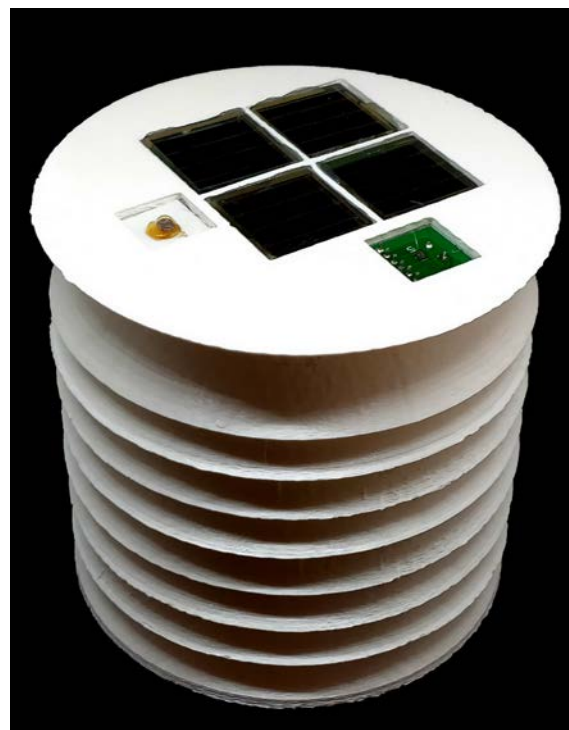


Fig. 74 Módulo externo ensamblado



Fig. 75 Conjunto de todos los elementos externos

5.2 Unidad interior

La unidad interior ha sido diseñada a partir del módulo ESP8266 directamente como procesador central, prescindiendo del QG8, puesto que no se necesitan entradas para tantos sensores. Sus planos y esquemático se presentan en el Anexo XI. Se han impreso dos variantes de carcasa (planos en el Anexo XII), una que permite su instalación en cualquier superficie y otra que está pensada para empotrarse en la pared y se ha añadido una LCD Nextion de 5.5' para poder visualizar la plataforma Grafana en una ampliación de trabajo futuro.

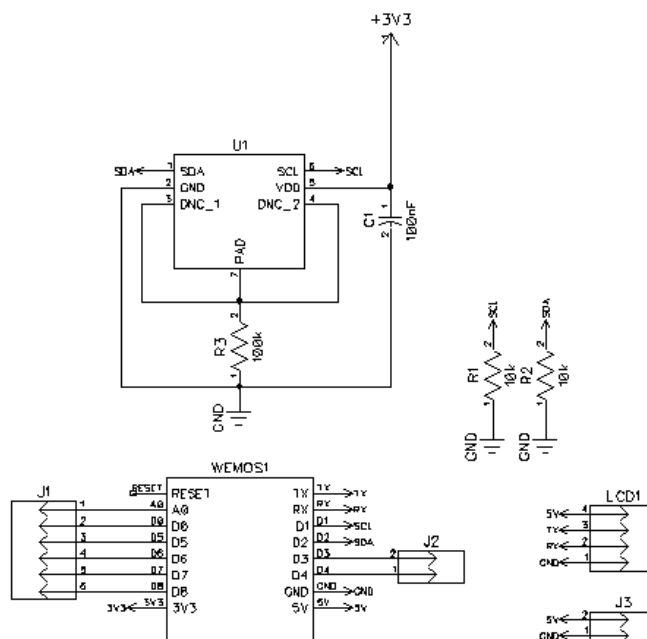


Fig. 76 Esquemático del nodo interno

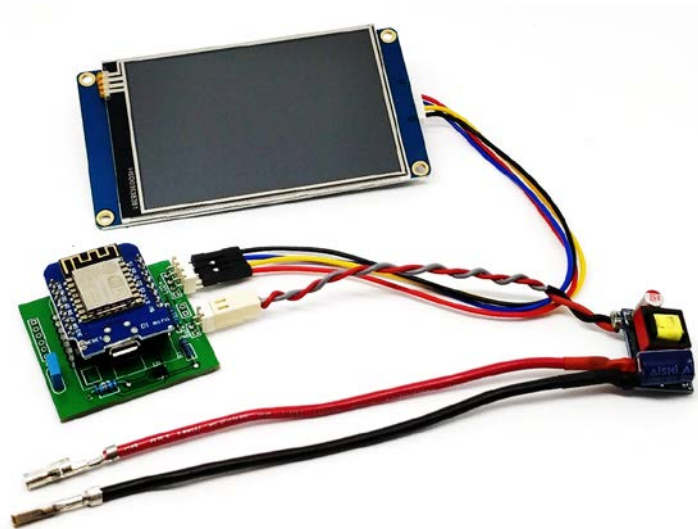


Fig. 77 Unidad interior sin carcasa



Fig. 78 PCB del módulo interno

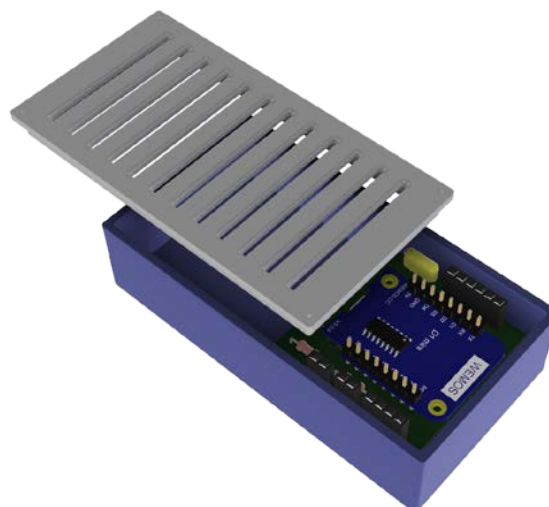


Fig. 79 Carcasa no empotrable diseñada para el módulo interior



Fig. 80 Instalación del módulo interior empotrable en una vivienda real

5.3 Unidad central

Se ha implementado en una Raspberry Pi Zero W como se explicó en el apartado 4.2. Se ha adquirido una carcasa a medida para su protección.



Fig. 81 Imagen del servidor central, Raspberry Pi Zero W



Las descripciones de los sensores, materiales y componentes utilizados, así como el coste total del proyecto se ha descrito en el Anexo XIII. Sin embargo, a grandes rasgos, se puede afirmar que los prototipos han cumplido con el objetivo de bajo coste.

El módulo externo, con capacidad de medida de 7 variables ambientales, comunicación wifi y autonomía solar, no supera el precio de los 35€, incluyendo su carcasa. El módulo interno, sin incluir la pantalla táctil, tiene un precio aproximado de 7€; mientras que la unidad central no supera los 12€. A su vez, el consumo de la estación externa es aceptablemente bajo, teniendo en cuenta que no se han utilizado procesadores ni módulos de comunicaciones específicos para el IoT.

Las baterías, como se indica en el punto 3.4.1 tienen una autonomía de aproximadamente 15 días. De manera adicional, se ha calculado que la energía obtenida por las placas solares en los meses de menor irradiancia sea suficiente para mantener el sistema activo.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Este proyecto consistente en el desarrollo de una red de sensores inalámbricos para mejorar los actuales controles térmicos de las viviendas, se ha compuesto de dos fases bien diferenciadas. La primera ha abarcado un amplio estudio sobre el campo del IoT y el modelado térmico en el hogar. La segunda ha recorrido todo el proceso de diseño de una plataforma de medición inalámbrica con varios tipos de nodos, los cuales se han diseñado, se han fabricado sus PCB, se han soldado los componentes y comprobado su funcionamiento. En definitiva, se han construido unos prototipos funcionales plenamente operativos y de bajo coste.

Al haber dotado al sistema de dos modalidades de alimentación, a baterías y a red eléctrica, las posibilidades de adaptación del proyecto a otros ámbitos son elevadas. La estación externa, por ejemplo, es capaz de realizar mediciones de manera autónoma sin requerir ningún tipo de conexión a la red eléctrica o a una red LAN cableada; por lo que podría implantarse en zonas de estudio más amplias, como ciudades inteligentes (*smart cities*).

El proyecto, planteado como contribución a la mejora de los sistemas de climatización de las viviendas actuales, con los objetivos de ahorro energético y confort, era desde el primer momento muy ambicioso. Las contribuciones fundamentales han sido el estudio realizado sobre modelado térmico de viviendas y el desarrollo y puesta en funcionamiento de la plataforma IoT de sensores. A partir de este momento, habría que iniciar una segunda fase que desborda este trabajo fin de grado (y que podría ser objeto de un futuro trabajo fin de máster), consistente en la implantación del sistema desarrollado en una vivienda, toma de medidas durante un amplio espacio de tiempo e



investigación y desarrollo del control térmico mediante algoritmos inteligentes. Así, en el Anexo I planteo un esquema que apunta a la viabilidad del uso de redes neuronales artificiales entrenadas mediante los datos que puede recoger la plataforma diseñada, para ser utilizarlos en el diseño de algoritmos de control predictivos para sistemas de calefacción y climatización de viviendas.

También se ha incluido en el diseño de los nodos interiores la posibilidad de utilizar una pantalla táctil integrada en el prototipo para acceder a los datos en tiempo real sin requerir otro dispositivo. No se ha implementado su programación, pero como trabajo futuro sería interesante dotar a la plataforma de capacidad de interacción con otros elementos inteligentes comerciales existentes en la vivienda y controlarlos desde el panel que se ha integrado.

En la línea que se acaba de exponer, en el Anexo X se ha incluido la instalación de un ambiente de control domótico llamado OpenHab (estudiado en el punto 2.3.7), de código libre y capaz de comandar elementos inteligentes de una gran cantidad de fabricantes. Esta plataforma puede incluir el acceso a bases de datos como la utilizada en el diseño; por lo que se podría utilizar todas las variables recogidas por los nodos para crear reglas de control de otros dispositivos como elementos de iluminación, calefacciones, aparatos de refrigeración o persianas automáticas.

Haber desarrollado una plataforma del IoT con las premisas de adaptabilidad y escalabilidad permite que el sistema sea compatible con una gran cantidad de servicios externos y para aplicaciones muy diversas. Finalmente, el estudio teórico de los modelos térmicos abre una línea de investigación muy interesante, y ahora factible, gracias a la capacidad de recolección de datos de la red diseñada.



7. Bibliografía

- [1] Johan Fagerberg and Anders Frick, "Berg Insight, Smart Homes and Home Automation," vol. 2018, (Sep 5,), Available: <http://www.berginisight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh5-ps.pdf>.
- [2] "Nest," vol. 2018, (Sep 5,), Available: <https://nest.com/es/thermostats/nest-learning-thermostat/overview/>.
- [3] "Netatmo," vol. 2018, (Sep 3,), Available: <https://www.netatmo.com/es-ES/product/energy/thermostat>.
- [4] "tado°," vol. 2018, (Sep 5,), Available: <https://www.tado.com/es/termostato-inteligente>.
- [5] "Momit," vol. 2018, (Sep 3,), Available: <https://www.momit.com/es-es/termostato/smart>.
- [6] S. Salazar Mañas, "Construcción y desarrollo sostenible "Arquitectura Bioclimática"," vol. 2018, (Sep 5,), 2012. Available: <http://repositorio.ual.es/handle/10835/800>.
- [7] F. Kurtz, M. Monzón and B. López-Mesa, "Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza," *Informes De La Construcción*, vol. 67, (1), pp. 2, 2015. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5259281>.
- [8] M. C. Mozer, "The Neural Network House : An Environment hat Adapts to its Inhabitants," 2002. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Neural-Network-House-%3A-An-Environment-hat-to-Mozer/5b0a37198593fbbf91aa3a613f64461c9f68be3b?tab=abstract>.
- [9] Frank P. Incropera *et al*, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer," 2009.
- [10] H. Arham, "Valoración de la respuesta térmica en edificios: la repercusión dinámica de la envolvente." 2006. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=92945>.
- [11] XinhuaXu and ShengweiWang, "Simplified building model for transient thermal performance estimation using GA-based parameter identification," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. Volume 45, Issue 4, pp. 419-432, 2006. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072905001614>.



- [12] R. Suárez and J. Fragoso, "Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo," *Informes De La Construcción*, vol. 68, (541), pp. 6, 2016. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5532097>.
- [13] J. C. Garreta, "Simulación del comportamiento térmico de edificios: estudio de las prestaciones del código Passim : aplicación al conjunto bioclimático de Begues," 1994. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=92461>.
- [14] "Modelo autorregresivo de media móvil," vol. 2018, (Sep 5,), 2017. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo autorregresivo de media m%C3%B3vil&oldid=96523179>.
- [15] UNE, "UNE-EN ISO 7730:2006," vol. 2018, (Sep 5,), Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>.
- [16] Chávez Del Valle, Francisco Javier, "Zona variable de confort térmico," 2002. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93416>.
- [17] Radu Balan *et al*, "Thermal Modelling and Temperature Control of a House ," Available: <http://www.incdmtm.ro/editura/documente/pag.%2059-62%20Comefim10%20Balan.pdf>.
- [18] C. Filippin and S. Flores Larsen, "Comportamiento térmico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso," *ASADES Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, vol. Vol 9, pp. 05.72, 2015. Available: <http://170.210.201.130/index.php/es/2016/08/03/comportamiento-termico-de-invierno-de-una-vivienda-convencional-en-condiciones-reales-de-uso/>.
- [19] J. Fergus Nicol and Michael A Humphreys, "Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings," *Oxford Centre for Sustainable Development*, 2002. Available: https://www.researchgate.net/publication/222402882_Adaptive_Thermal_Comfort_and_Sustainable_Thermal_Standards_for_Buildings.
- [20] I. Marincic, J. M. Ochoa and J. A. d. Río, "Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad," *Adaptive Thermal Comfort Considering Temperature and Relative Humidity*, vol. 7, (20), pp. 27-46, 2012. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/12640>. DOI: 10.5821/ace.v7i20.2572.



- [21] R. K. Kodali and A. Sahu, "An IoT based weather information prototype using WeMos," *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, pp. 612-616, 2016. . DOI: 10.1109/IC3I.2016.7918036.
- [22] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, (15), pp. 2787-2805, 2010. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [23] V. Vujović and M. Maksimović, "Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 44, (Supplement C), pp. 153-171, 2015. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790615000257>. DOI: //doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.01.019.
- [24] S. Dey, A. Roy and S. Das, "Home automation using Internet of Thing," *2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, pp. 1-6, 2016. . DOI: 10.1109/UEMCON.2016.7777826.
- [25] S. Dey *et al*, "An IoT framework for smart power management system," *2017 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pp. 214-218, 2017. . DOI: 10.1109/IEMCON.2017.8117195.
- [26] V. Ghule and S. Sakhare, "Smart Organization," *2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 826-830, 2017. . DOI: 10.1109/IACC.2017.0170.
- [27] J. A. Asensio *et al*, "Emulating home automation installations through component-based web technology," *Future Generation Computer Systems*, 2017. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17306088>. DOI: //doi.org/10.1016/j.future.2017.09.062.
- [28] S. J. Johnston *et al*, "Applicability of commodity, low cost, single board computers for Internet of Things devices," *WF-IoT*, pp. 141-146, 2016. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7845414>. DOI: 10.1109/WF-IoT.2016.7845414.
- [29] "Raspberry Pi Foundation," vol. 2018, (Sep 5,), Available: <https://www.raspberrypi.org/about/>.
- [30] "Arquitectura ARM," 2018. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arquitectura_ARM&oldid=110228926.



- [31] "Raspbian," Available: <https://www.raspbian.org/>.
- [32] Q. H. Mahmoud and D. Qendri, "The Sensorian IoT platform," *Cncnc*, pp. 286-287, 2016. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7444783>. DOI: 10.1109/CCNC.2016.7444783.
- [33] M. López-Benítez *et al*, "Prototype for multidisciplinary research in the context of the Internet of Things," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 78, (Supplement C), pp. 146-161, 2017. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804516302922>. DOI: //doi.org/10.1016/j.jnca.2016.11.023.
- [34] H. Stojanoski *et al*, "Practical, cheap smart home implementation with general purpose embedded hardware Raspberry Pi," *2017 Eighth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, pp. 335-341, December 2017.
- [35] Bryon Moyer, "Messaging Protocols," 2015. Available: <http://www.eejournal.com/article/20150420-protocols/>.
- [36] A. Gloria, F. Cercas and N. Souto, "Comparison of communication protocols for low cost Internet of Things devices," *2017 South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, pp. 1-6, 2017. . DOI: 10.23919/SEEDA-CECNSM.2017.8088226.
- [37] P. Jutadhamakorn *et al*, "A scalable and low-cost MQTT broker clustering system," *Incit*, pp. 1-5, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8257870>. DOI: 10.1109/INCIT.2017.8257870.
- [38] T. Tavade and P. Nasikkar, "Raspberry Pi: Data logging IOT device," *Icpedc*, pp. 275-279, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8081100>. DOI: 10.1109/ICPEDC.2017.8081100.
- [39] L. Mhatre and N. Rai, "Integration between wireless sensor and cloud," *I-Smac*, pp. 779-782, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8058285>. DOI: 10.1109/I-SMAC.2017.8058285.
- [40] "AWS | Cloud Computing," vol. 2018, (Sep 6,), Available: <https://aws.amazon.com/es/>.
- [41] "Microsoft Azure," vol. 2018, (Sep 6,), Available: <https://azure.microsoft.com/es-es/>.



- [42] P. P. Ray, "A survey of IoT cloud platforms," *Future Computing and Informatics Journal*, vol. 1, (1), pp. 35-46, 2016. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314728816300149>. DOI: [//doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.02.001).
- [43] "Base de datos," 2018. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Base_de_datos&oldid=110375675.
- [44] "MySQL," 2018. Available: <https://www.mysql.com/>.
- [45] "InfluxData," vol. 2018, (Sep 6,), Available: <https://www.influxdata.com/>.
- [46] S. E. Princy and K. G. J. Nigel, "Implementation of cloud server for real time data storage using Raspberry Pi," *Get*, pp. 1-4, 2015. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7453790>. DOI: 10.1109/GET.2015.7453790.
- [47] D. P. Richardson, A. C. Lin and J. M. Pecarina, "Hosting distributed databases on internet of things-scale devices," *Desec*, pp. 352-357, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8073855>. DOI: 10.1109/DESEC.2017.8073855.
- [48] Med Amine Harrabi, Chraigui Sofiene and Mhimdi Wafa, "Deploying an internet of things cloud platform on openstack," *2015 World Congress on Information Technology and Computer Applications (WCITCA)*, pp. 1-5, June, 2015.
- [49] Pornpat Paethong, Mikiko Sato and Mitaro Namiki, "Low-power distributed NoSQL database for IoT middleware," pp. 158-161, May 2016.
- [50] C. Koliás *et al*, "DDoS in the IoT: Mirai and Other Botnets," *Mc*, vol. 50, (7), pp. 80-84, 2017. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7971869>. DOI: 10.1109/MC.2017.201.
- [51] A. O. Prokofiev, Y. S. Smirnova and V. A. Surov, "A method to detect Internet of Things botnets," *EIconRus*, pp. 105-108, Jan 2018. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8317041>. DOI: 10.1109/EIconRus.2018.8317041.
- [52] N. Gupta, V. Naik and S. Sengupta, "A firewall for Internet of Things," *Comsnets*, pp. 411-412, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7945418>. DOI: 10.1109/COMSNETS.2017.7945418.



[53] E. F. Luchian *et al*, "Mobile wireless sensor network gateway: A raspberry Pi implementation with a VPN backend to OpenStack," *2017 25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pp. 1-5, 2017. . DOI: 10.23919/SOFTCOM.2017.8115561.

[54] R. G. Anvekar, R. M. Banakar and R. R. Bhat, "Design alternatives for end user communication in IoT based system model," *Tiar*, pp. 121-125, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8273698>. DOI: 10.1109/TIAR.2017.8273698.

[55] G. Jonsdottir, D. Wood and R. Doshi, "IoT network monitor," *Urtc*, pp. 1-5, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8284179>. DOI: 10.1109/URTC.2017.8284179.

[56] S. Huh, S. Cho and S. Kim, "Managing IoT devices using blockchain platform," *2017 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 464-467, February 2017. . DOI: 10.23919/ICACT.2017.7890132.

[57] A. Dorri *et al*, "Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home," *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pp. 618-623, March 2017. . DOI: 10.1109/PERCOMW.2017.7917634.

[58] "Cadena de bloques," 2018. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cadena_de_bloques&oldid=110256459.

[59] "Google Cloud," vol. 2018, (Sep 6,), Available: <https://cloud.google.com/> .

[60] F. Anon *et al*, "Building a Framework for Internet of Things and Cloud Computing," *Ithings*, pp. 132-139, 2014. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7059653>. DOI: 10.1109/iThings.2014.28.

[61] "MATLAB® & Simulink® with Raspberry Pi® a hands-on workshop on hardware support for project based learning," *Educon*, pp. 1, Apr 2014. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6826055>. DOI: 10.1109/EDUCON.2014.6826055.

[62] "Grafana," vol. 2018, (Sep 6,), Available: <https://grafana.com/>.

[63] R. K. Kodali and K. S. Mahesh, "Low cost implementation of smart home automation," *Icacci*, pp. 461-466, 2017. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8125883>. DOI: 10.1109/ICACCI.2017.8125883.



- [64] E. A. Díaz Ballesteros *et al*, "Android management tool, that controls electronic devices through a Raspberry Pi under the IOT model," *2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC)*, pp. 237-244, 2015. . DOI: 10.1109/ColumbianCC.2015.7333421.
- [65] R. Pallás Areny, "Sensores y acondicionadores de señal," 2003.
- [66] J. M. Pinazo Ojer, "DTIE 3.01 propiedades del aire húmedo, diagrama psicrométrico-transformaciones psicrométricas," Madrid, .
- [67] "Irradiancia," 2016. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Irradiancia&oldid=95022942>.
- [68] "Espectro electromagnético," 2018. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectro_electromagn%C3%A9tico&oldid=110475665.
- [69] "What Wavelengths are Photoresistors sensitive to?" vol. 2018, (Sep 9), Available: <https://electronics.stackexchange.com/questions/211894/what-colors-or-wavelengths-are-photoresistors-sensitive-to>.
- [70] L. Morlas Funes and B. Martín del Brío, "Estación meteorológica inalámbrica, de muy bajo consumo e inteligencia embebida," 2015.
- [71] V. Ventura, "Índice UV con el sensor ultravioleta I2C VEML6070 y Arduino," 2016. Available: <https://polaridad.es/sensor-ultravioleta-uv-i2c-veml6070-arduino/>.
- [72] "Sigfox, Arduino MKRFOX1200 y un medidor de radiación UV," 2017. Available: <https://programarfacil.com/podcast/sigfox-arduino-mkrfox1200-radiacion-uv/>.
- [73] R. N. Naziazeno, "Construção, calibração e análise de desempenho de um piranômetro de baixo custo, baseado no modelo Kimball-Hobbs," 2009. Available: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15559>.
- [74] G. Sánchez Hernández, "Medida y modelización de la componente difusa de la radiación solar total y ultravioleta," 2017.
- [75] N. L. F. Veloz and J. Palacios, "Measuring global solar irradiance and atmospheric optical thickness, using a digital pyranometer under conditions of clear skies and no clouds in Valencia (Venezuela)," *Optica Pura Y Aplicada*, vol. 46, (3), pp. 295-302, 2013. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4407894>.



- [76] J. Marrodán Fernández, "Piranómetro fotovoltaico," *Public University of Navarre*, 2012. Available: <http://hdl.handle.net/2454/4670>.
- [77] A. García García J., "Estudio de la sobrevelocidad en anemómetros de cazoleta," *Revista De Meteorología AEMET*, vol. 3 (4), (1984), pp. 45-65, 1984. Available: <http://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/1239>.
- [78] M. Lara Jaén, "Anemómetros sónicos y de cazoletas: dos instrumentos distintos en nuestra red de observación." 2011. Available: <http://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/2837>.
- [79] A. J. Flores Paredes, D. F. Meneses Costales and N. G. Sotomayor, "Diseño e implementación de un sistema de medición de la temperatura ambiental, velocidad y dirección del viento en base a sensores ultrasónicos," pp. 10-2010, Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3688>.
- [80] S. Kassar Martínez, "Anemometría marciana. Anemómetro térmico," -11-20, 2009.
- [81] Fabian Blanco García, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ANEMÓMETRO BASADO EN SENSORES ULTRASÓNICOS," 2015. Available: <http://repositoriodspace.itm.edu.co:80/jspui/handle/itm/108>.
- [82] E. J. Villegas-Jiménez, "Diseño de un anemómetro basado en el efecto piezoresistivo." -12, 2008.
- [83] S. N. Franchini, "Fuentes de incertidumbre en anemometría sónica," 2006. Available: <http://oa.upm.es/458/>.
- [84] P. Martin Rodriguez *et al*, "Utilizacion de anemometro de hilo caliente a temperatura constante para mediciones de velocidad de aire en tunel de viento," *Ingenieria Electronica, Automatica Y Comunicaciones*, vol. 35, (1), pp. 78, 2014. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59282014000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- [85] "Tamesol," Available: <https://www.tamesol.com/monocrystalline-vs-polycrystalline/>.
- [86] A. Spiess, "SensorsIoT," <http://www.sensorsiot.org/> .
- [87] E. Setiawan, "Eko Setiawan page," Available: http://hijwho.sakura.ne.jp/labwp/?page_id=48.
- [88] "Sunrise and sunset times in Zaragoza," vol. 2018, (Sep 12,), Available: <https://www.timeanddate.com/sun/spain/zaragoza>.



[89] "Solargis," Available: <https://solargis.info/imaps/#loc=41.656497,-0.878906&c=41.775408,-0.556183&z=9>.

[90] "Solar Irradiance Calculator," vol. 2018, (*Sep 12,*), Available: <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>.

[91] "Raspberry Pi Zero W," Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>.

[92] "MQTT Esp8266," vol. 2018, (*Sep 12,*), 2018. Available: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>.

[93] "Eclipse Mosquitto," vol. 2018, (*Sep 12,*), 2018. Available: <https://mosquitto.org/>.

[94] "Stevenson screen," 2018. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stevenson_screen&oldid=850789572.