



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño y desarrollo de un sistema de monitorización de  
colmenas utilizando arduino

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Bataller Garzon, Carles

Tutor/a: Salido Gregorio, Miguel Angel

Director/a Experimental: PEREZ BERNAL, CHRISTIAN

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

***Diseño y desarrollo de un sistema de  
monitorización de colmenas utilizando  
Arduino***

---

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**



## RESUMEN

La desaparición progresiva de las abejas es un problema global, el cual supone a su vez la desaparición de numerosas especies vegetales y animales. La extinción de las abejas se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia de la acción humana y el cambio climático, requiriendo estas cuidados cada vez más sofisticados y continuos.

Por todo esto los apicultores reafirman su importante labor, no solo en la producción melífera sino también en la conservación de la especie.

A pesar de la importancia que engloba la situación, el sector apícola es uno de los más precarios y minoritarios. Esta precariedad provoca que la investigación para la cura de enfermedades que afectan a las abejas, como son la *Varroa* o la *Nosemosis*, avance muy despacio. Los métodos y herramientas utilizadas hoy en día por los apicultores son en su mayoría los mismos que se utilizaban un siglo atrás.

La finalidad del proyecto es la integración de tecnologías actuales como redes IoT, microcontroladores y sensorización con estructuras tradicionales como son los colmenares de abejas, probando un prototipo de colmena inteligente en un entorno real.

La propuesta se basa en el diseño e integración de un sistema de monitorización para una colmena mediante el uso de sensores de temperatura y humedad, lluvia o peso que permitan al apicultor conocer el estado general del colmenar sin tener que desplazarse hasta la remota ubicación de las colmenas gracias al uso de la conectividad SigFox.

La información recogida en la colmena de forma periódica es ofrecida al apicultor en un panel de visualización web, permitiendo así conocer el estado de la colmena en todo momento. Además, el sistema incluye un sistema antirrobo que envía mediante SMS la ubicación de la colmena al apicultor.



## RESUM

La desaparició progressiva de les abelles és un problema global, que suposa alhora la desaparició de nombroses espècies vegetals i animals. L'extinció de les abelles s'ha incrementat en les darreres dècades com a conseqüència de l'acció humana i el canvi climàtic, requerint estes cures cada vegada més sofisticades i contínues.

Per tot això els apicultors reafirmen la seua important feina, no només en la producció mel·lífera sinó també en la conservació de l'espècie.

Tot i la importància que engloba la situació, el sector apícola és un dels més precaris i minoritaris. Aquesta precarietat provoca que la investigació per a la cura de malalties que afecten les abelles, com són la *Varroa* o la *Nosemosi*, avanci molt a poc a poc. Els mètodes i eines utilitzades hui en dia pels apicultors són majoritàriament els mateixos que es feien servir un segle enrere.

La finalitat del projecte és la integració de tecnologies actuals com xarxes IoT, microcontroladors i sensorització amb estructures tradicionals com són els ruscs d'abelles, provant un prototip de rusc intel·ligent en un entorn real.

La proposta es basa en el disseny i la integració d'un sistema de monitorització per a un rusc mitjançant l'ús de sensors de temperatura i humitat, pluja o pes que permeteixen a l'apicultor conèixer l'estat general del rusc sense haver de desplaçar-se fins a la remota ubicació dels ruscs gràcies a l'ús de la connectivitat SigFox.

La informació recollida al rusc de forma periòdica és oferida a l'apicultor en un panell de visualització web, permetent així conèixer l'estat del rusc en tot moment. A més, el sistema inclou un sistema antirobatori que envia mitjançant SMS la ubicació del rusc a l'apicultor.

**Paraules clau:** Arduino; sensors; actuadors; Sigfox; IoT; rusc; abelles.



## ABSTRACT

The progressive disappearance of bees is a global problem, which also includes the disappearance of numerous plant and animal species. The extinction of bees has increased in recent decades because of human action and climate change, requiring these increasingly sophisticated and continuous care.

For all this, beekeepers reaffirm their important work, not only in honey production but also in the conservation of the species.

Despite the importance of the situation, the beekeeping sector is one of the most precarious and minority. This precariousness means that research to cure diseases that affect bees, such as *Varroa* or *Nosemosis*, progress very slowly. The methods and tools used by beekeepers today are mostly the same as those used a century ago.

The purpose of the project is the integration of current technologies such as IoT networks, microcontrollers and sensorization with traditional structures such as beehives, testing an intelligent hive prototype in a real environment.

The proposal is based on the design and integration of a monitoring system for a hive using temperature and humidity, rain or weight sensors that allow the beekeeper to know the general state of the apiary without having to travel to the remote location of the beehives thanks to the use of SigFox connectivity.

The information collected in the beehive periodically is offered to the beekeeper in a web display panel, allowing them to always know the status of the beehive. In addition, the system includes an anti-theft system that sends the location of the hive to the beekeeper via SMS.

**Key words:** Arduino; sensors; actuators; Sigfox; IoT; beehive; bees.



# ÍNDICE GENERAL

## MEMORIA

1. OBJETO .....	4
2. ANTECEDENTES .....	5
3. ESTUDIO DE NECESIDADES, FACTORES A CONSIDERAR.....	6
3.1. <i>Necesidades</i> .....	6
3.1.1. Conectividad global .....	6
3.1.2. Adaptabilidad.....	7
3.1.3. Bajo consumo .....	7
3.2. <i>Condicionantes</i> .....	8
3.2.1. Hardware .....	8
3.2.2. Costes .....	8
4. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	9
4.1. <i>Red de conexión</i> .....	9
4.1.1. Redes de telefonía y GSM.....	10
4.1.2. LoRa .....	10
4.1.3. SigFox .....	11
4.1.4. Red Satelital .....	12
4.2. <i>Hardware</i> .....	12
4.2.1. Sensores.....	13
4.2.1.1. Sensor de lluvia .....	13
4.2.1.1.1. Sensor YL-83.....	13
4.2.1.2. Sensor de temperatura y humedad .....	14
4.2.1.2.1. Sensor AM2302.....	14
4.2.1.2.2. Sensor SHT30 .....	14
4.2.1.3. Sensor de posicionamiento .....	15
4.2.1.3.1. Módulo U-blox NEO-6M .....	15
4.2.1.3.2. Módulo Adafruit Ultimate GPS .....	15
4.2.1.4. Sensor de peso .....	16
4.2.1.4.1. Celda de carga 60kg .....	16
4.2.1.4.2. Conversor ADC HX711 .....	17
4.2.1.4.3. Báscula comercial .....	17
4.2.2. Módulo microcontrolador .....	18
4.2.2.1. Arduino Micro y módulo de comunicación inalámbrica .....	18
4.2.2.2. Arduino MKR FOX 1200.....	19
4.2.2.3. Arduino MKR GSM 1400.....	19
4.2.2.4. Pycom LoPy4 .....	20
4.2.3. Sistema de alimentación .....	20
4.2.3.1. Batería .....	20
4.2.3.1.1. Batería alcalina AA o AAA .....	21
4.2.3.1.2. Batería cilíndrica litio NCM .....	21
4.2.3.1.3. Batería cilíndrica lito LIFEP04 .....	21
4.2.3.2. Celda solar .....	22
4.2.3.2.1. Panel monocristalino .....	22
4.2.3.2.2. Panel policristalino.....	23
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	23
5.1. <i>Dispositivo de monitorización para colmenas</i> .....	24
5.1.1. Sensores.....	25
5.1.1.1. Sensores de temperatura y humedad.....	25
5.1.1.2. Sensor de lluvia .....	28
5.1.1.3. Sensor de posicionamiento .....	29
5.1.1.4. Sensor de peso .....	30
5.1.2. Soportes y carcasa .....	34
5.1.3. Microcontrolador .....	37
5.1.4. Sistema de alimentación .....	39
5.1.5. Sistema de comunicación .....	41
5.2. <i>Software</i> .....	46
5.2.1. Arduino .....	46
5.2.2. Python.....	49
5.3. <i>Interfaz Usuario</i> .....	53
5.4. <i>Prueba de funcionamiento</i> .....	55
6. FUTUROS TRABAJOS .....	59
7. CONCLUSIONES .....	60
8. BIBLIOGRAFÍA .....	61

## PLANOS

1.CARCASA PRINCIPAL.....	1
1.1. Base carcasa.....	1
1.2. Tapa carcasa.....	2
2.SOPORTE BÁSCULA.....	3
2.1. Base soporte.....	3
2.2. Suplemento soporte.....	4
3.SOPORTE CELDA SOLAR.....	5
3.1. Base soporte.....	5
3.2. Tapa soporte.....	6

## PLIEGO DE CONDICIONES

1.OBJETO.....	2
2.CONDICIONES DE LOS MATERIALES.....	2
2.1. Descripción .....	2
2.2. Control de calidad.....	3
3.CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN.....	4
3.1. Descripción .....	4
3.2. Control de calidad.....	4
4.PRUEBAS Y AJUSTES FINALES O DE SERVICIO.....	5

## PRESUPUESTO

1.OBJETO .....	2
2. PRESUPUESTO DE MATERIALES .....	2
3. PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA.....	3
4. PRESUPUESTO TOTAL.....	4

## ANEXO I

1.CALIBRACIÓN SISTEMA DE PESAJE, CÓDIGO ARDUINO .....	2
2. DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN, CÓDIGO ARDUINO.....	2
3. BACKEND INTERFAZ USUARIO, CÓDIGO PYTHON .....	6
4. INTERFAZ GRÁFICA FORMATO WEB, CÓDIGO HTML5 .....	7
5. INTERFAZ GRÁFICA FORMATO WEB, CÓDIGO CSS.....	8



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# ***Diseño y desarrollo de un sistema de monitorización de colmenas utilizando Arduino***

---

## **MEMORIA**

*Documento nº1*

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**

MEMORIA  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## ÍNDICE

1. OBJETO .....	4
2. ANTECEDENTES .....	5
3. ESTUDIO DE NECESIDADES, FACTORES A CONSIDERAR .....	6
3.1. Necesidades .....	6
3.1.1. Conectividad global .....	6
3.1.2. Adaptabilidad .....	7
3.1.3. Bajo consumo .....	7
3.2. Condicionantes .....	8
3.2.1. Hardware .....	8
3.2.2. Costes .....	8
4. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	9
4.1. Red de conexión .....	9
4.1.1. Redes de telefonía y GSM .....	10
4.1.2. LoRa .....	10
4.1.3. SigFox .....	11
4.1.4. Red Satelital .....	12
4.2. Hardware .....	12
4.2.1. Sensores .....	13
4.2.1.1. Sensor de lluvia .....	13
4.2.1.1.1. Sensor YL-83 .....	13
4.2.1.1.2. Sensor de temperatura y humedad .....	14
4.2.1.1.2.1. Sensor AM2302 .....	14
4.2.1.1.2.2. Sensor SHT30 .....	14
4.2.1.1.3. Sensor de posicionamiento .....	15
4.2.1.1.3.1. Módulo U-blox NEO-6M .....	15
4.2.1.1.3.2. Módulo Adafruit Ultimate GPS .....	16
4.2.1.1.4. Sensor de peso .....	16
4.2.1.1.4.1. Celda de carga 60kg .....	16
4.2.1.1.4.2. Conversor ADC HX711 .....	17
4.2.1.1.4.3. Báscula comercial .....	17
4.2.2. Módulo microcontrolador .....	18
4.2.2.1. Arduino Micro y módulo de comunicación inalámbrica .....	18
4.2.2.2. Arduino MKR FOX 1200 .....	19
4.2.2.3. Arduino MKR GSM 1400 .....	19
4.2.2.4. Pycom LoPy4 .....	20
4.2.3. Sistema de alimentación .....	20
4.2.3.1. Batería .....	20
4.2.3.1.1. Batería alcalina AA o AAA .....	21
4.2.3.1.2. Batería cilíndrica litio NCM .....	21
4.2.3.1.3. Batería cilíndrica lito LIFEP04 .....	21
4.2.3.2. Celda solar .....	22
4.2.3.2.1. Panel monocristalino .....	22
4.2.3.2.2. Panel policristalino .....	23
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....	23
5.1. Dispositivo de monitorización para colmenas .....	24
5.1.1. Sensores .....	25
5.1.1.1. Sensores de temperatura y humedad .....	25
5.1.1.2. Sensor de lluvia .....	28
5.1.1.3. Sensor de posicionamiento .....	29
5.1.1.4. Sensor de peso .....	30
5.1.2. Soportes y carcasa .....	34
5.1.3. Microcontrolador .....	37

**MEMORIA**  
**Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino**

5.1.4. Sistema de alimentación .....	39
5.1.5. Sistema de comunicación .....	41
<b>5.2. Software .....</b>	<b>46</b>
5.2.1. Arduino .....	46
5.2.2. Python .....	49
<b>5.3. Interfaz Usuario .....</b>	<b>53</b>
<b>5.4. Prueba de funcionamiento .....</b>	<b>55</b>
6. FUTUROS TRABAJOS .....	59
7. CONCLUSIONES .....	60
8. BIBLIOGRAFÍA .....	61

MEMORIA  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MÓDULO GSM/GPRS SIM900 .....	10
FIGURA 2: LOGOTIPO LoRa ALLIANCE .....	11
FIGURA 3: LOGOTIPO SigFox.....	11
FIGURA 4: SENSOR DE LLUVIA YL-83 Y CIRCUITO INTEGRADO COMPARADOR LM393 .....	13
FIGURA 5: SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD AM2302 .....	14
FIGURA 6: MÓDULO GPS U-BOX NEO-6M .....	15
FIGURA 7: CELDA DE CARGA 60KG .....	16
FIGURA 8: PLACA DE DESARROLLO ARDUINO MKR FOX 1200 .....	19
FIGURA 9: BATERÍA DE LITIO SAMSUNG 50E .....	21
FIGURA 10: CELDA SOLAR MONOCRISTALINA.....	22
FIGURA 11: DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN PARA COLMENAS .....	24
FIGURA 12: ERROR DE HUMEDAD RELATIVA, ERROR DE TEMPERATURA AM2302 .....	25
FIGURA 13: SECUENCIA DE COMUNICACIÓN PROTOCOLO 1-WIRE .....	27
FIGURA 14: MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD, MONITOR SERIE ARDUINO IDE.....	28
FIGURA 15: PINES DE CONEXIÓN LM393.....	29
FIGURA 16: VALORES MEDIDOS POR MÓDULO U-BLOX NEO-6M, MONITOR SERIE ARDUINO IDE .....	30
FIGURA 17: POSICIÓN DE TRABAJO PARA LA CELDA DE CARGA WL1243.....	31
FIGURA 18: ESQUEMA DE CONEXIÓN CELDA DE CARGA WL1243 .....	31
FIGURA 19: APLICACIÓN TÍPICA HX711, DIAGRAMA DE BLOQUES.....	32
FIGURA 20: PRUEBA DE CALIBRADO SISTEMA DE PESAJE, MONITOR SERIE ARDUINO IDE.....	33
FIGURA 21: SISTEMA DE PESAJE CON CELDA DE CARGA WL1243 Y ARDUINO IDE.....	33
FIGURA 22: VISTA EXPLOSIONADA CARCASA PRINCIPAL, TAPA Y COMPONENTES ELECTRÓNICOS, MODELO 3D.....	35
FIGURA 23: CARCASA PRINCIPAL Y TAPA, MODELO 3D .....	35
FIGURA 24: VISTA EXPLOSIONADA SOPORTE PARA CELDA SOLAR Y SENSOR DE LLUVIA, MODELO 3D .....	36
FIGURA 25: INCLINACIÓN SENSOR DE LLUVIA YL-83, DETALLE MODELO 3D .....	36
FIGURA 26: VISTA EXPLOSIONADA SISTEMA DE PESAJE CON CELDA DE CARGA WL1243, MODELO 3D .....	37
FIGURA 27: ESQUEMA DE MONTAJE GENERAL DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN PARA COLMENAS, FRITZING .....	38
FIGURA 28: CARACTERÍSTICAS DIODO LED 4303H1 .....	39
FIGURA 29: DESCRIPCIÓN GENERAL COMPONENTES DFR0559 .....	40
FIGURA 30: CREACIÓN DE UN DEVICE TYPE, SigFox BACK-END .....	43
FIGURA 31: REGISTRO DE DISPOSITIVO, SigFox BACK-END.....	44
FIGURA 32: ESTRUCTURA VARIABLES PAYLOAD, SigFox BACK-END .....	44
FIGURA 33: CONFIGURACIÓN CALLBACK, SigFox BACK-END .....	45
FIGURA 34: LISTA DE MENSAJES RECIBIDOS, SigFox BACK-END .....	46
FIGURA 35: MENÚ DE CREACIÓN DE APPS, PYTHONANYWHERE .....	50
FIGURA 36: INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN PYTHONANYWHERE, ARCHIVO FLASK_APP.PY.....	51
FIGURA 37: INTERFAZ WEB DEL DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN DE COLMENAS .....	54
FIGURA 38: MENSAJE DE PRUEBA DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN CON SigFox, FORMATO E-MAIL .....	55
FIGURA 39: COMPONENTES SISTEMA DE MONITORIZACIÓN UBICADOS EN EL INTERIOR DE UNA COLMENA .....	55
FIGURA 40: SOPORTE CELDA SOLAR Y SENSOR DE LLUVIA, IMPRESIÓN 3D .....	56
FIGURA 41: CARCASA PRINCIPAL, IMPRESIÓN 3D.....	56
FIGURA 42: CARCASA PRINCIPAL Y TAPA JUNTO A LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS ENSAMBLADOS .....	57
FIGURA 43: CARCASA PRINCIPAL COMPLETA, COLOCACIÓN EN COLMENA LAYENS.....	57
FIGURA 44: DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN INTEGRADO EN UNA COLMENA .....	58
FIGURA 45: MENSAJE SMS DE ALERTA POR ROBO .....	59

MEMORIA  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## 1. Objeto

El objeto del proyecto es el desarrollo de un dispositivo de monitorización para colmenas de abejas, pudiendo obtener información sobre el estado del colmenar en tiempo real desde una ubicación remota.

El dispositivo podrá medir diferentes variables ambientales como la temperatura y humedad dentro y fuera de la colmena, presencia de lluvia o información relativa a la localización y el peso de la colmena. El sistema será capaz de enviar estos datos periódicamente al apicultor mediante SMS y disponer de los mismos en una plataforma en la nube para posteriormente analizar la evolución de las colmenas. La transmisión de la información desde el colmenar hasta Internet tendrá lugar a través de una red LPWAN (Low Power Wide Area Network) llamada SigFox.

El sistema desarrollado ayudará al apicultor a conocer el estado de la colmena sin desplazarse, reduciendo el número de visitas al colmenar para comprobar el estado de las abejas.

La reducción de los controles periódicos supondrá un ahorro económico importante ya que durante los periodos de trashumancia las colmenas se sitúan a grandes distancias de la vivienda del apicultor, además de brindar una herramienta de predicción con el registro de los datos medidos en la colmena, pudiendo prevenir enfermedades y posibles cuidados que requieran las abejas.

La tecnología IoT (Internet of Things) en conjunto con la conectividad SigFox brinda al dispositivo una funcionalidad amplia con un consumo de energía mínima, consiguiendo así una autonomía superior a un año con una única batería recargable, apoyada además por un módulo fotovoltaico que dotará al sistema de una autonomía extendida.

## 2. Antecedentes

Actualmente la cantidad de animales que se encuentran en peligro de extinción en nuestro planeta aumenta de forma exponencial. El efecto del cambio climático, la intervención humana en ecosistemas naturales y la desaparición progresiva de especies agrava aún más la situación.

Uno de los principales grupos afectados son los insectos polinizadores donde se engloba a las abejas, cuya desaparición supondría la pérdida de muchas especies vegetales y en consecuencia otros animales, debido a la falta de polinización.

A pesar de que existen diversos insectos polinizadores como las avispas, mariposas o moscas son las abejas el principal soporte para la polinización global, suponiendo su desaparición hasta un 75% de pérdida en la productividad de las cosechas y un 90% de la flora silvestre según *El declive de las abejas* [1].

La apicultura es la actividad dedicada a la crianza de las abejas y a prestarles los cuidados necesarios con el objetivo de obtener y consumir los productos que son capaces de elaborar y recolectar [2]. Los apicultores son los encargados de la tarea de crianza de las abejas, cuyas tareas como la recolección de miel, desinfección de colmenares o trashumancia mantienen la dinámica de trabajo que se ha empleado durante décadas. Estas tareas también han experimentado cambios con la introducción de maquinaria moderna, nuevos formatos de colmena o suplementos alimenticios para abejas.

La aparición y desarrollo de nuevos sistemas de transmisión de información con bajos requerimientos técnicos y amplias posibilidades como el IoT abren un nuevo abanico de posibilidades en la conectividad de cualquier máquina u objeto independientemente de su localización o aplicación para obtener datos, analizarlos y si es necesario tomar decisiones en base a los mismos.

Son varias las soluciones comerciales relativas a la monitorización de colmenas que encontramos hoy en día, los principales productos a la venta para este fin son la *Báscula Digital* de HiveWatch [3] y *Hive-Tech* de 3BEE [4], cuya funcionalidad es principalmente la monitorización del peso de la colmena y algunos parámetros ambientales como la temperatura y humedad. Estos productos utilizan redes de banda ancha para la transmisión de información como son redes 2G y 4G, lo que supone un consumo mayor de batería que otros dispositivos de banda estrecha, además de las limitaciones de uso en las zonas remotas donde se suelen situar los colmenares ya que la cobertura es nula en muchas ocasiones.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

De las soluciones existentes para el seguimiento de la actividad de las abejas concluimos en el elevado precio que tienen, así como la tecnología poco versátil y la falta de soluciones a la problemática de las zonas sin cobertura.

### 3. Estudio de necesidades, factores a considerar

En cualquier proyecto es fundamental completar un estudio previo a la realización de este para obtener una visión general de cuáles son las necesidades o requerimientos que debe cumplir. También es necesario conocer las limitaciones que existen y que pueden condicionar el desarrollo del proyecto.

Las necesidades y condicionantes detallados en los siguientes apartados engloban los factores a considerar para el dispositivo de monitorización para colmenas.

#### 3.1. Necesidades

La implementación del proyecto supone la aproximación a un objetivo real que debe estar alineado con las necesidades requeridas por el cliente, en este caso las necesidades de las abejas y el apicultor.

##### 3.1.1. *Conectividad global*

La localización de los colmenares es distinta a lo largo del año, buscando las condiciones óptimas para la cría y producción de miel. Dichas localizaciones se encuentran en gran parte situadas en entornos rurales, muchos de ellos con un difícil acceso o sin conexión con redes tradicionales como redes de telefonía 2G y 3G.

La conexión continua entre el dispositivo de monitorización y la red de comunicación empleada debe ser ininterrumpida. El envío periódico de los datos recogidos por los sensores del sistema requiere de una comunicación inalámbrica con una cobertura extendida.

Las soluciones de monitorización para colmenas desarrolladas hasta el momento aprovechan las redes comunes de banda ancha nombradas anteriormente, viendo limitado su uso a zonas con una señal estable para el envío de los datos recogidos por los sensores. Hoy en día todavía la cobertura de telefonía es débil en zonas montañosas, lo que supone la inutilización de estos dispositivos en ubicaciones ideales para las abejas.

Tomando estas consideraciones, en el proyecto se busca maximizar la usabilidad del dispositivo de monitorización, permitiendo la libre ubicación de los colmenares en lugares remotos, asegurando al apicultor el envío de los datos del colmenar en todo momento. Para lograrlo se empleará un protocolo de comunicación de largo alcance como son las redes IoT.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### *3.1.2. Adaptabilidad*

El dispositivo de monitorización para colmenas tiene su aplicación final en una colmena real. Existen diferentes formatos de colmena, con distintas medidas y materiales, las cuales están diseñadas para diferentes fines.

Podemos diferenciar colmenas con paneles fijos o paneles móviles y a su vez formatos horizontales, verticales o dedicadas a la producción de cría [5].

Debido a la no universalización de las colmenas en la apicultura es fundamental que durante el desarrollo del proyecto se tengan en cuenta las diferentes opciones comerciales que existen, consiguiendo así un diseño enfocado a la fabricación de un único producto estándar válido para los diferentes formatos de colmena.

El método de implementación de los sensores en el sistema también será adaptable a posibles modificaciones del dispositivo, permitiendo cambios en el hardware y software sin afectar a la funcionalidad del dispositivo.

### *3.1.3. Bajo consumo*

Uno de los factores clave en el desarrollo del proyecto es el bajo consumo de la electrónica integrada, necesario en dispositivos IoT y en concreto en la aplicación para apicultura.

La utilización de un instrumento de monitorización en la apicultura supone que durante largos periodos de tiempo este no dispondrá de alimentación externa para la electrónica más que el sistema de almacenamiento del cual disponga, en este caso baterías extraíbles. El rendimiento de la batería utilizada, sus características de funcionamiento y medidas suponen un elemento importante en el desarrollo del proyecto y en el rendimiento del dispositivo.

Con el objetivo de maximizar la autonomía del dispositivo se integrará una celda solar al sistema, cargando la batería lentamente durante las horas de sol y reduciendo el consumo del sistema.

Por otro lado, la electrónica empleada debe cumplir con la condición de consumir la mínima energía posible con la máxima precisión y calidad. Para ello se realizará un estudio de los sensores y placas electrónicas existente, seleccionando los que mejor se adapten a los requerimientos de la aplicación final.

La transmisión de la información también es un factor decisivo para conseguir una mayor autonomía. En el proyecto se analizarán las opciones de transmisión de datos válidas y se decidirá cuál es la más conveniente en este contexto, priorizando a su vez las comunicaciones donde el consumo energético sea mínimo.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

El bajo consumo está presente en el software desarrollado, por lo que la programación del microcontrolador y las acciones que realizará el mismo se realizarán optimizando el consumo energético, programando estados de reposo y funcionamiento periódicos.

### 3.2. Condicionantes

En todo proyecto existen condicionantes que marcan su desarrollo. A continuación, se detallan las limitaciones que afectan al dispositivo de monitorización para colmenas.

#### 3.2.1. Hardware

Para la monitorización de las abejas es necesario el uso de componentes electrónicos que nos faciliten la adquisición y el envío de los datos para posteriormente analizarlos y tomar decisiones en base a la información obtenida a través del hardware.

Atendiendo a las necesidades de conexión, adaptabilidad y bajo consumo se utilizarán componentes óptimos para este caso, aun así, las opciones ofrecidas por los fabricantes son limitadas. Los sensores utilizados en el proyecto son componentes diseñados para un uso general, adaptables a distintas aplicaciones, lo que supone que la integración en ciertos sistemas no sea perfecta.

El uso de una placa electrónica comercial limita en ciertos aspectos la integración del hardware asociado, ya que este componente actúa como “cerebro” del sistema. De la placa depende el voltaje de alimentación de los sensores, el número de entradas y salidas o el voltaje de alimentación requerido al sistema de baterías.

Por el contrario, a pesar de los condicionantes que supone integrar una placa comercial, existen diferentes modelos enfocados a fines concretos como son placas con módulo wifi para la conexión con la red o placas dedicadas al IoT, las cuales cuentan con el módulo de conexión con la red IoT integrado en estas.

#### 3.2.2. Costes

La apicultura forma parte del sector primario agrícola y ganadero, lo que hace que los márgenes de beneficios con los que trabajan los apicultores sean reducidos y que en muchas ocasiones se vean afectados por las inclemencias meteorológicas o factores externos como la intervención humana en zonas de polinización.

Se tiene en cuenta para el desarrollo del proyecto el coste total que conlleva el diseño del sistema, materiales y puesta a punto. El diseño de la carcasa que contendrá parte de los componentes electrónicos y soportes se fabricará con componentes económicos como metal y PLA, con un diseño sencillo pero robusto para soportar las condiciones ambientales y a su vez minimizar el coste total.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

La conectividad requerida por el sistema hace uso de alguna de las redes disponibles. En muchas ocasiones el uso de estas redes de comunicación está limitado a una suscripción mensual o anual que supone un coste extra para el dispositivo final.

Existen materiales y opciones variadas para lograr el objetivo de monitorizar una colmena, pero se debe tener presente el compromiso entre funcionalidad y coste, donde se busca el coste mínimo que permita al usuario final tener un dispositivo usable en cualquier situación.

### 4. Planteamiento de soluciones alternativas y justificación de la solución adoptada

Conociendo las necesidades y condicionantes que existen se procede a estudiar cuáles son las opciones aplicables para cada uno de los módulos del proyecto. A su vez, entre las opciones disponibles se justificará la solución adoptada.

Entre los módulos que engloban el proyecto encontramos las redes de conexión, donde se evalúan los tipos de red que existen en el mercado y que por las características que ofrecen son compatibles total o parcialmente con las necesidades de conexión y consumo del dispositivo.

Encontramos varias subdivisiones relativas a componentes electrónicos como son hardware, módulo microcontrolador y sistema de alimentación. Es importante conocer las distintas soluciones comerciales que son válidas para el proyecto y elegir la más conveniente, teniendo en cuenta los factores de precio, funcionalidad y calidad previamente mencionados.

Un último módulo llamado *muestra de datos* presenta las opciones de visualización y recepción de datos ofrecidas al apicultor, comparando distintas tecnologías de visualización como avisos periódicos vía SMS o un registro web del estado de la colmena.

#### 4.1. Red de conexión

Respecto a las redes de conexión es prioritario emplear en el proyecto la tecnología más óptima, ya que de este sistema de comunicación va a depender gran parte del hardware, así como el método de obtención y procesado de los datos recogidos en la colmena.

A continuación, se detallan algunas de las redes de comunicación existentes, las cuales se caracterizan principalmente por su funcionamiento inalámbrico, ajustándose a las necesidades de desplazamiento que requiere la trashumancia de las colmenas. La cobertura y el bajo consumo completan los requisitos de conexión que debe cumplir el dispositivo.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 4.1.1. Redes de telefonía y GSM

Las redes de telefonía se engloban dentro de las tecnologías de transmisión móvil creadas para la transmisión de voz y datos a través de dispositivos de telefonía móvil [6].

La evolución de la tecnología utilizada en la telefonía y el aumento de usuarios que hacían uso de esta aumentó exponencialmente el siglo pasado. En 1979 aparecía el primer sistema de comunicación móvil conocido como 1G (primera generación) de uso exclusivo para transmisión por voz y con el cual aparecieron varios estándares de comunicación, el más extendido es el denominado AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Pronto apareció un nuevo sistema de comunicación móvil conocido como 2G (Segunda generación), mejorando la anterior generación. Este sistema introdujo nuevos protocolos de telefonía más flexibles que los anteriores, incluyendo el envío de mensajes SMS y de datos en la misma señal. Uno de los estándares de la segunda generación es el GSM (Global System for Mobile Communications), este se extendió a nivel global, siendo en la actualidad el estándar más utilizado en todo el mundo.



El ancho de banda que utilizan estos protocolos es muy significativo comparado con otros sistemas de comunicación como los sistemas de banda ultraestrecha LPWAN. El motivo del uso de frecuencias elevadas y banda ancha es debido a las necesidades actuales de transmisión de contenido audiovisual en la telefonía. Para mejorar la velocidad y cantidad de datos en el envío a través de esta red se actualizan continuamente los sistemas de comunicación móvil, como la red de reciente lanzamiento 5G (quinta generación).

**Figura 1:** Módulo GSM/GPRS SIM900

Como se observa, las redes de telefonía móvil han sido desarrolladas con un fin específico, el cual es la utilización de estos sistemas de comunicación con teléfonos móviles, permitiendo la transmisión de paquetes de datos pesados con una velocidad de transmisión alta. Para poder hacer uso de las redes de comunicación móvil el uso de una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) es necesario (ver Figura 1).

Por tanto, las redes de telefonía no se adecuan con las necesidades requeridas en el proyecto y no se considera una opción viable para este. Se estudiarán redes de comunicación específicas para redes IoT y con cobertura globalizada.

#### 4.1.2. LoRa

LoRa es una de las tecnologías inalámbricas más conocidas y extendidas en el ámbito de la conectividad IoT (ver Figura 2). Utilizada para el envío de información en pequeños

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

paquetes de datos hasta 255 bytes a grandes distancias con un bajo consumo, incluso en zonas remotas.

Para la comunicación entre dispositivos LoRa y los servidores se utiliza el protocolo de red LoRaWAN, basado en la especificación de área amplia y baja potencia [7]. Esta arquitectura de red se estructura en estrella y está compuesta por nodos y gateways (puertas de entrada) [8]. Por un lado, los nodos son los dispositivos donde se recogen los datos medidos con los sensores y los cuales envían esta información a las puertas de entrada, que hacen de puente entre los nodos LoRa y los servidores de la red.



*Figura 2: Logotipo LoRa Alliance*

A pesar de que esta tecnología va estrechamente relacionada con la aplicación del presente proyecto no se escoge como la red de conexión del dispositivo por varios motivos. Uno de ellos es el alcance en exteriores, donde el alcance de la red LoRa es de unos 20km en condiciones favorables la red SigFox es capaz de alcanzar los 50km de distancia hasta un punto de recepción.

La tecnología LoRa busca la creación de un estándar de comunicación, para que distintos dispositivos puedan hacer uso de esta red utilizando los chips de la marca. Al contrario que SigFox, LoRa permite la creación de la red por completo, creando los nodos y puertas de entrada, lo que también supone que el mantenimiento de los dispositivos y el software del que disponen es llevado a cabo por el propietario del aparato.

#### 4.1.3. SigFox

SigFox [9] es una empresa de telecomunicaciones francesa fundada en 2009, a la cual se le atribuye la creación de la red 0G (ver Figura 3). Esta red creada para aplicaciones de IoT es inalámbrica, pensada para la conectividad de dispositivos de bajo consumo como medidores eléctricos o sensorización los cuales necesitan una comunicación continuada.

Similar a la red LoRa, la comunicación SigFox hace uso del protocolo de red LPWAN basado en la transmisión de la información en pequeños paquetes de datos a grandes distancias para minimizar el consumo del sistema transmisor.



*Figura 3: Logotipo SigFox*

La comunicación en esta red tiene lugar en la frecuencia de 868MHz para Europa, haciendo uso de las bandas de radio ISM (Industrial, Scientific and Medical). Debido a las regulaciones impuestas sobre el uso de estas bandas de frecuencia SigFox limita el envío de mensajes a 140 por día, lo que significa el envío de un mensaje cada 10 minutos.

Una de las ventajas de la red SigFox es la escasez de componentes necesaria para la transmisión de la información a través de su red hasta los servidores en la nube. Gracias a

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

la colaboración con empresas tecnológicas, SigFox junto a Arduino han desarrollado una placa de circuito impreso que cuenta con un módulo transmisor SigFox integrado, facilitando más la implementación de esta tecnología.

Debido a la relativa antigüedad de la empresa todavía existen países donde no es posible operar con esta red. En España destaca la buena cobertura en gran parte del territorio, existiendo carencias de conexión en algunos puntos remotos, que en un futuro serán cubiertos a medida que más antenas sean instaladas.

SigFox ofrece una suscripción anual con un coste de 18 euros, la que permite conectar un dispositivo transmisor a la red y hacer uso de la web SigFox Back-end, donde son mostrados los datos recogidos, así como diferentes configuraciones.

El soporte ofrecido por la empresa para la integración del sistema de comunicación y los servicios que ofrece hacen de esta red de comunicación la opción más adecuada para el dispositivo de monitorización. Cumpliendo con los requisitos de bajo consumo en la transmisión y conectividad en zonas remotas se integra la tecnología SigFox en el presente proyecto.

#### *4.1.4. Red Satelital*

La comunicación satelital [10] enfocada al Internet de las Cosas es una tecnología todavía en desarrollo, pero promete ventajas respecto al resto de comunicaciones existentes.

La principal ventaja ofrecida por esta tecnología es la cobertura global, con una disponibilidad de hasta el 99% es la red adecuada para la comunicación en lugares remotos, como son en muchas ocasiones las ubicaciones donde se encuentran las colmenas.

Otra de las ventajas ofrecidas por este sistema es la eficiencia, donde se consigue un consumo de energía menor respecto a otras tecnologías, pero con un ancho de banda mayor.

Se estima un crecimiento anual del 12% para la implantación de satélites dedicados al IoT. A pesar de las ventajas de la red satelital su estado de desarrollo prematuro en el ámbito del IoT hace que no sea una opción válida para la implementación en el proyecto de monitorización para colmenas.

#### *4.2. Hardware*

El dispositivo de monitorización para colmenas cuenta con una parte importante de hardware asociado, entre los que se encuentran distintos sensores para la monitorización y el microcontrolador que gobierna el conjunto. Este microcontrolador es el encargado de transmitir la información recogida en los sensores hasta el punto final, como pueden ser los servidores red gracias a un módulo encargado de realizar esta comunicación.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Forma parte del conjunto del hardware la alimentación del dispositivo, encargada de mantener energizado los componentes electrónicos y la cual está apoyada por una celda solar que brindará al dispositivo una autonomía extendida.

Se pasa a analizar las soluciones alternativas que existen para el hardware del instrumento, a su vez se justificará la elección de los componentes seleccionados para el proyecto. Se detallan los sensores necesarios, el módulo de control y el conjunto del sistema de alimentación.

#### 4.2.1. Sensores

El sistema de monitorización del instrumento se basa en la adquisición de datos provenientes de una colmena de abejas, por ello es fundamental el correcto planteamiento previo de los sensores que van a ser integrados en el sistema.

Para la elección de estos componentes se tienen en cuenta factores como la precisión del sensor, su versatilidad, consumo o precio.

##### 4.2.1.1. Sensor de lluvia

Las condiciones ambientales son determinantes para las abejas ya que el alimento de estas depende de la floración de las plantas.

Se plantea la implementación de un sensor para la detección o medición de lluvia, este permitirá al apicultor conocer los periodos de lluvia en la zona exacta donde se encuentre el colmenar.

###### 4.2.1.1.1. Sensor YL-83

Se trata de un sensor resistivo, cuyo elemento de medición es una placa de superficie niquelada resistente a la oxidación. Esta placa cuenta con dos pistas metálicas superficiales que no tienen contacto entre sí (ver Figura 4). Cuando el agua o la nieve contacta con esta placa se crea un cortocircuito entre las pistas metálicas, provocando un cambio en la resistencia de salida.



**Figura 4:** Sensor de lluvia YL-83 y circuito integrado comparador LM393

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

El circuito impreso es conectado a un segundo módulo donde un circuito integrado modelo LM393 [11], actuando como comparador. Este comparador proporciona una salida digital, cuyo valor varía según la resistencia provocada a la salida del circuito impreso, diferenciando así entre una superficie seca o presencia de lluvia.

En el caso del dispositivo de monitorización para colmenas no se utiliza la salida digital. En su defecto se utiliza la salida analógica que permite al microcontrolador, gracias al conversor analógico/digital integrado, obtener los valores medidos en un rango suficientemente preciso para diferenciar distintas intensidades de lluvia.

#### 4.2.1.2. Sensor de temperatura y humedad

Otro sensor con gran importancia para la monitorización es el sensor de temperatura y humedad. Se estudiarán los sensores comerciales existentes, buscando minimizar costes y espacio se analiza la mejor alternativa, entre un único sensor que mida ambas variables o sensores dedicados a la medición de temperatura o humedad.

##### 4.2.1.2.1. Sensor AM2302

El sensor AM2302[12], también conocido como DHT22, perteneciente a la familia AM23 de sensores de temperatura y humedad, predecesor del modelo anterior DHT11.

Se trata de un sensor digital calibrado, formado por un sensor de humedad capacitivo y un sensor digital DS18B20, ambos calibrados por un coeficiente guardado en una memoria OTP(One-Time-Programmable) el cual es utilizado cuando el sensor está midiendo. Estos elementos están encapsulados en una carcasa de plástico con ranuras que protege los componentes a la vez que facilita las mediciones (ver Figura 5).



**Figura 5:** Sensor de temperatura y humedad AM2302

Con un rango de trabajo desde los 3V hasta los 5V, un rango de medición 0-100% para la humedad cuenta con una precisión del  $\pm 2\%$ . El rango de temperaturas medible por el sensor es de  $-40/+80$  °C con una resolución de  $\pm 0.1$  °C.

Las características que ofrece este sensor cumplen con las requeridas en el proyecto, con un coste relativamente bajo no es elegido como solución debido a la existencia de un sensor con mejores características y un precio menor, expuesto a continuación.

##### 4.2.1.2.2. Sensor SHT30

Este sensor fabricado por Sensorion [13] dentro de la gama SHT3x-DIS se trata de un sensor digital perfectamente calibrado y linealizado.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

El sensor SHT30 puede trabajar en un rango de 2.15 a 5.5 voltios, con mayor precisión en la medición de la humedad relativa que el sensor AM2302, con una precisión de  $\pm 2\%$ . El elemento diferenciador de este es el bajo consumo. Con un consumo medio (periodos de reposo y de medición intermitente) de  $1.7\mu A$  según las especificaciones ofrecidas en la hoja de datos del fabricante, frente a los  $0.8mA$  de consumo medio correspondientes al sensor AM2302.

El precio del dispositivo es menor que el DHT22, anteriormente analizado. Por todo esto se elige el sensor SHT30 como solución a la medición de temperatura y humedad en el interior y exterior de la colmena.

#### 4.2.1.3. Sensor de posicionamiento

A pesar de que el dispositivo de monitorización para colmenas no requiera la integración de un sistema de localización para medir las variables ambientales se hace uso de este sensor como elemento de seguridad.

La función del módulo GPS (Global Positioning System) es principalmente conocer la ubicación del colmenar cada periodo de tiempo, manteniéndose fija dicha ubicación si no hay anomalías, pero mostrando la ubicación en tiempo real en caso de robo.

##### 4.2.1.3.1. Módulo U-blox NEO-6M

El módulo GPS debe cumplir con el compromiso de buena precisión con la localización, bajo coste y consumo, así como un diseño reducido para integrarlo en el dispositivo de monitorización para colmenas (ver Figura 6).



**Figura 6:** Módulo GPS U-blox NEO-6M

El GPS NEO-6M [14] fabricado por U-blox y cuya serie es NEO-6 cumple con estas premisas. Con un precio reducido, este dispositivo es capaz de medir la ubicación con una precisión de 2.5 metros y un error en la orientación de  $0.5^\circ$  lo que supone un rango suficiente para aplicaciones como la apicultura.

Por otro lado, NEO-6M tiene un consumo de  $45 mA$  mientras está realizando mediciones. Gracias a la arquitectura del sistema basada en los tiempos de reposo el módulo únicamente estará activo cuando se requiera conocer su posición, lo que reducirá drásticamente su consumo.

Este módulo GPS es la opción que mejor se alinea con el proyecto. Posteriormente se detallará su funcionamiento y su ubicación en el conjunto del dispositivo, así como su intervención durante la monitorización.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 4.2.1.3.2. Módulo Adafruit Ultimate GPS

Este sensor de posicionamiento desarrollado por Adafruit llamado Ultimate GPS [15] es un firme competidor en el mercado de módulos GPS para placas de desarrollo como Arduino.

El dispositivo tiene una precisión muy aceptable, con 1.8 metros de error en la posición y un consumo de 25 mA durante su funcionamiento. Con un rango de voltaje de trabajo entre 3.3 y 5 V es compatible con las diferentes placas comerciales.

Sin embargo, aunque la precisión sea superior al módulo Ublox anteriormente expuesto, así como una corriente de consumo menor, se toma la decisión de no implementar el módulo debido al mayor tamaño con la antena y el sobrecoste respecto al módulo NEO-6M. Teniendo en cuenta que los periodos de adquisición de posición son muy breves y cada cierto periodo de tiempo no es decisivo el menor consumo del dispositivo para la elección de este en el proyecto.

#### 4.2.1.4. Sensor de peso

El sensor de peso se utiliza como indicador del estado de la colmena, midiendo variaciones en el peso de esta sirve como referencia para anticipar posibles enfermedades, falta de abejas o aumento de la producción melífera.

El sensor se sitúa en la parte inferior de la colmena, actuando como soporte y a su vez midiendo el peso total de la caja, miel y abejas.

##### 4.2.1.4.1. Celda de carga 60kg

La celda o célula de carga [16] es un transductor de fuerza diseñado para soportar tensión, compresión y flexión (ver Figura 7). Construido mayoritariamente con materiales resistentes y ligeros como el aluminio, cuentan con una o varias galgas extensiométricas, las cuales son utilizadas para medir la deformación producida por la carga con la configuración de puente de Wheatstone.



**Figura 7:** Celda de carga 60kg

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Estas celdas de carga son ampliamente utilizadas en distintas aplicaciones industriales, vehículos, medicina y también en los dispositivos de medición de peso como son las básculas.

Puesto que la deformación de las galgas produce una señal analógica fuera del rango de lectura del microcontrolador se emplea un convertidor analógico-digital para adaptar la señal.

Para la aplicación en la colmena se deberán diseñar unos soportes adecuados a la celda y a la colmena. El diseño de estos soportes se detalla en el apartado N<sup>o</sup>5, *Descripción detallada de la solución adoptada*. Además, la celda de carga se dimensionará respecto al peso que debe soportar en la colmena, evitando seleccionar una celda con un amplio rango de pesaje, capaz de medir hasta los 60kg.

#### 4.2.1.4.2. Conversor ADC HX711

Relativo a la elección de la celda de carga como sensor de peso es necesario la utilización de un sistema de adecuación de la señal, en este caso de un conversor ADC, en concreto el modelo HX711. Este conversor lo encontramos en formato de circuito impreso con el circuito de acoplamiento. El conversor HX711 de 24 bits [17] ha sido diseñado para operar en un rango de voltaje entre 2.6 y 5.5 voltios, con un consumo de corriente de medición de 1.5 mA.

La utilización de la celda de carga junto al conversor ADC es la opción más versátil y económica para el proyecto. Su implementación se realizará junto al resto de componentes del dispositivo de monitorización, destacando el diseño de la base donde se colocará la celda de carga y posteriormente la colmena.

#### 4.2.1.4.3. Báscula comercial

El funcionamiento de una báscula comercial es en muchas ocasiones igual al sistema de pesaje basado en una celda de carga. Esta similitud es debida a la integración de celdas de carga basadas en galgas extensiométricas en la mayoría de los sistemas de pesaje comercializados en la actualidad.

A pesar de ser una opción válida la integración de una báscula comercial en el sistema de pesaje, la necesaria adaptación del sistema adquirido a un fabricante dificulta la utilización en el dispositivo de monitorización, además de suponer un sobre coste fruto de la mano de obra invertida en la adaptación de la báscula para el pesaje de una colmena.

El precio de una celda de carga fabricada en aluminio y su sistema de adaptación economiza el coste total del proyecto respecto a la utilización de una báscula ya comercializada, por esto se decide desestimar la opción de integrar la báscula en el dispositivo desarrollado.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 4.2.2. Módulo microcontrolador

El microcontrolador es el encargado de gestionar los datos medidos en la colmena, tratar los mismos y junto a un módulo de comunicación enviar la información a los servidores.

La elección del microcontrolador es fundamental. Se tienen en cuenta distintas variables como la cantidad de entradas y salidas analógicas y digitales que dispone la placa de control determina la cantidad de sensores o dispositivos que pueden ser conectados al microcontrolador.

En el caso del dispositivo de monitorización es necesario el uso de entradas tanto digitales como analógicas, ya que los distintos sensores tienen características distintas. También se tienen en cuenta distintas características como voltajes de trabajo, protocolos compatibles y precio.

Para el presente proyecto se analizan varios microcontroladores integrados en una PCB (printed circuit board) lo cual facilita la tarea de integración de la electrónica necesaria para el instrumento.

Existen gran variedad de placas electrónicas de desarrollo como son las fabricadas por Arduino o Raspberry. Estas placas son diseñadas en muchas ocasiones para una tarea específica, es el caso de la gama Arduino MKR, enfocadas al desarrollo de prototipos IoT con distintas tecnologías para la conexión con la red.

También es posible utilizar una placa electrónica de uso general e integrando posteriormente los módulos de comunicación o adquisición de datos necesarios.

##### 4.2.2.1. Arduino Micro y módulo de comunicación inalámbrica

La gama de dispositivos creados por Arduino es muy extensa, así como la cantidad de software desarrollado por los usuarios de estos dispositivos.

Una de las placas creadas por la marca es la conocida como Arduino Micro, utilizada en diferentes aplicaciones a pesar de su reducido tamaño es capaz de cumplir con la mayoría de requerimientos en distintos proyectos. El modelo Micro [18] está basado en el microcontrolador ATmega32U4, con 20 entradas y salidas digitales, además de un puerto micro-USB.

Es necesario el uso de un módulo externo el cual se encargará de la transmisión de los datos. Existen distintos módulos para conectar las placas electrónicas con distintos dispositivos como pueden ser módulos bluetooth, wifi, LoRa, SigFox...

Una posible solución para la aplicación requerida es la integración de un módulo Arduino micro junto al módulo de conexión SigFox, fácilmente compatibles entre sí. El coste de este conjunto supera los 50 euros, siendo un precio mayor que otras placas de desarrollo dedicadas como las nombradas anteriormente Arduino MKR.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 4.2.2.2. Arduino MKR FOX 1200

Esta placa conocida como Arduino MKR FOX 1200 es de reciente creación [19], surge debido al incremento en la demanda de nuevos productos enfocados al IoT. Arduino diseñó una versión “maker” con un módulo SigFox ATA8520 integrado en la misma placa, mostrado en la Figura 8.



**Figura 8:** Placa de desarrollo Arduino MKR FOX 1200

Con un consumo de corriente muy limitado, el modelo 1200 de Arduino MKR es la solución óptima para las necesidades del proyecto. Con un coste de 35 euros, esta placa dispone de 8 pines digitales de entrada/salida, con 7 entradas analógicas, suficiente para los sensores utilizados en la monitorización de las abejas.

Además, la integración del módulo SigFox en la misma placa simplifica el hardware y el espacio que ocupa el dispositivo a la vez que se simplifica la programación del microcontrolador. Todos estos factores son determinantes para la elección del dispositivo Arduino MKR FOX 1200 como la placa electrónica elegida para el proyecto.

#### 4.2.2.3. Arduino MKR GSM 1400

Arduino MKR GSM 1400 [20] es otra de las opciones desarrolladas por la empresa Arduino para el IoT, en este caso integrando un módulo de conectividad GSM/3G.

Con características hardware similares al modelo MKR FOX 1200 anteriormente nombrado, la principal diferencia se encuentra en el módulo SARAU201 GSM, que brinda al dispositivo la conexión a las redes de telefonía convencionales mediante el uso de una tarjeta SIM.

Destaca el elevado consumo de este módulo, llegando a picos de 500mA durante la transmisión de datos. Es necesaria la utilización de un sistema de alimentación con mayor capacidad para suministrar la energía necesaria al dispositivo.

Las desventajas que supone el uso de la tecnología GSM frente a las ventajas que ofrece para nuestra aplicación son determinantes para descartar la elección de esta placa como dispositivo de control del sistema.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### 4.2.2.4. Pycom LoPy4

LoPy4 [21] es una placa diseñada específicamente para su integración con cualquiera de las principales tecnologías IoT del mercado. Integrado dentro del dispositivo se encuentra el módulo microcontrolador ESP32 [22] el cual encapsula a su vez un sistema en chip con Wifi y bluetooth.

Esta placa integra un transceptor compatible con la tecnología LoRa y SigFox, todo a un precio reducido y un bajo consumo. La programación de este módulo se realiza con Python, otro lenguaje de programación que como C++ facilita la lectura y escritura del código, intuitivo para la programación de sistemas que integran varias tecnologías como los dispositivos IoT.

La placa LoPy4 es una alternativa competitiva tanto en precio como en funcionalidad. Esta placa no se utiliza como microcontrolador para el dispositivo de monitorización para colmenas debido a la facilidad para implementar el sistema con la interfaz de programación ofrecida por Arduino y el dispositivo MKR FOX 1200, así como la compatibilidad de los distintos módulos y sensores diseñados específicamente para la marca.

### 4.2.3. Sistema de alimentación

El uso del dispositivo de monitorización para colmenas en sitios de difícil acceso y aislados de la red eléctrica hace necesaria la integración de un sistema de almacenamiento de energía eficiente.

Se plantea la división del sistema de alimentación en 3 subgrupos. La primera de las divisiones es la parte de la batería, donde se procede a explicar brevemente diferentes opciones de baterías, así como la más adecuada para el hardware empleado en el proyecto.

Para lograr una autonomía mayor se introducirá en el sistema una celda solar que junto a la batería proporcionarán energía al sistema. La gestión de la energía producida por la celda solar, la carga y descarga de la batería y la alimentación del sistema es gestionado por un regulador de carga.

#### 4.2.3.1. Batería

Las baterías han sido utilizadas durante mucho tiempo en todo tipo de sistemas, como alimentación de circuitos electrónicos, actuadores... En los últimos años con la utilización de energía sostenible y recargable han sido desarrolladas nuevas tecnologías que han provocado la aparición de baterías con mejores características.

El voltaje de suministro necesario y la energía que es capaz de entregar cada batería son dos parámetros importantes en la elección del sistema de alimentación. En la aplicación para la monitorización de colmenas no es necesario un sistema de alta descarga de corriente, puesto que la batería empleada únicamente alimenta los distintos módulos electrónicos del dispositivo de monitorización. Sin embargo, si es necesario seleccionar una batería con las dimensiones adecuadas y la máxima eficiencia posible.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 4.2.3.1.1. Batería alcalina AA o AAA

Las batería o pilas alcalinas [23] reciben su nombre gracias a la reacción de oxidación entre el ánodo y cátodo. Este tipo de batería utiliza hidróxido de potasio como electrolito, a diferencia de otras químicas de baterías como las celdas Li-ion que utilizan el litio como conductor eléctrico o electrolito.

Aparece como una alternativa a la batería utilizada en el dispositivo de monitorización para colmenas debido a su tensión nominal de 1.5V, coincidente con la mitad tensión de alimentación recomendada por el fabricante para la placa electrónica Arduino MKR FOX 1200. Por esto, utilizando dos baterías alcalinas conectadas en serie es posible alimentar el sistema de monitorización por completo.

La desventaja más notable en este tipo de batería se encuentra en la imposibilidad de recarga. El dispositivo se desarrolla con la clara idea de adaptabilidad y funcionalidad, lo que implica que la utilización de una batería no recargable dificulte la integración de un sistema de recarga solar o la sostenibilidad del sistema, ya que dicha batería debe ser desechada una vez está completamente descargada.

#### 4.2.3.1.2. Batería cilíndrica litio NCM

Las baterías de litio son las más utilizadas en la actualidad, tanto en dispositivos electrónicos pequeños como en vehículos eléctricos de gran capacidad. Uno de los formatos para las baterías de litio son las celdas cilíndricas en sus versiones de 18650 o 21700, numeración referida a las dimensiones de la celda en milímetros.



**Figura 9:** Batería de litio Samsung 50E

El aumento exponencial en la fabricación de celdas de litio es debido al rendimiento superior que ofrecen, además de tener larga vida útil. Entre las distintas celdas de litio podemos diferenciarlas mediante los componentes químicos que las forman, siendo el níquel-cobalto-manganeso (NCM) una de las combinaciones más utilizadas y con mejor rendimiento.

Entre los formatos más comunes utilizados en las celdas de litio se elige el tamaño 21700 como la opción más adecuada para el proyecto (ver Figura 9), siendo la celda con mayor densidad energética por kilogramo, obteniendo así la máxima energía en el espacio reducido del cual dispone el dispositivo de monitorización.

#### 4.2.3.1.3. Batería cilíndrica lito LIFEP04

Otra de las baterías utilizadas en numerosas aplicaciones son las baterías de litio LFP (Litio ferrofosfato). Se trata también de un sistema de batería recargable, disponible en formato cilíndrico.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

En el caso de las baterías LIFEP04, el cátodo de la batería está compuesto por hierro, lo que presenta una ventaja relativa a costes de fabricación y compromiso medioambiental respecto a una batería de litio NCM. Por otro lado, estas baterías LFP tienen un rendimiento menor, así como una menor densidad energética en comparación con una celda de níquel-cobalto-manganeso.

La existencia de una celda recargable con mejores prestaciones descarta la opción de elegir la celda de litio LIFEP04 como la batería utilizada en el proyecto.

#### 4.2.3.2. Celda solar

La implementación de distintos módulos de sensores y un microcontrolador integrado en una placa de desarrollo, unido a los requerimientos del sistema con el envío de datos a través de la red SigFox hace que el conjunto de componentes conectados tenga un consumo considerable. La ubicación remota de los colmenares hace necesaria la utilización de una alimentación aislada de la red eléctrica, lo que supone la disposición limitada de energía.

Para aumentar la autonomía del sistema se pretende integrar un sistema de recarga auxiliar basado en una celda solar, consiguiendo así el aumento considerable de la autonomía del sistema de monitorización para colmenas.

A continuación, se analizan las opciones existentes relativas a paneles solares eligiendo el tipo de panel que mejor se adapte al sistema de monitorización.

##### 4.2.3.2.1. Panel monocristalino

Los módulos fotovoltaicos [24] conocidos también como paneles solares son un conjunto de celdas fotovoltaicas unidas entre sí, consiguiendo diferentes configuraciones de voltaje y amperaje a la salida.

Mediante el efecto fotoeléctrico las celdas solares son capaces de producir electricidad cuando la luz incide sobre estas. Se diferencian varios tipos de celdas solares dependiendo de su composición.



**Figura 10:** Celda solar monocristalina

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Las celdas monocristalinas (ver Figura 10) formadas por una capa de silicio son las celdas con mayor rendimiento, ofreciendo una potencia de salida mayor que otros tipos de celda. Al igual que el rendimiento, el coste de estas celdas es superior al de celdas menos eficientes como las celdas solares policristalinas.

El bajo rendimiento ofrecido por este tipo de celdas ante altas temperaturas hace que sea complicada su integración en el sistema de monitorización para colmenas, ya que la continua exposición de las colmenas al sol provoca el aumento de la temperatura en esta.

#### 4.2.3.2.2. Panel policristalino

Los paneles solares policristalinos, formados por celdas policristalinas se fabrican mediante la fundición del silicio, donde se obtiene una celda compuesta por pequeños cristales de este material. Este proceso de fabricación hace que la celda policristalina no consiga una eficiencia tan alta como el panel monocristalino.

A pesar de la menor eficiencia, la celda policristalina tiene un coste de fabricación menor. También, este tipo de celda tolera en mayor medida las altas temperaturas, siendo ideal para entornos con temperaturas elevadas.

La utilización del panel solar como un sistema de alimentación auxiliar hace que la menor eficiencia del panel no sea relevante para el dispositivo de monitorización. Es seleccionado el tipo de celda solar policristalina como la opción aplicable al proyecto.

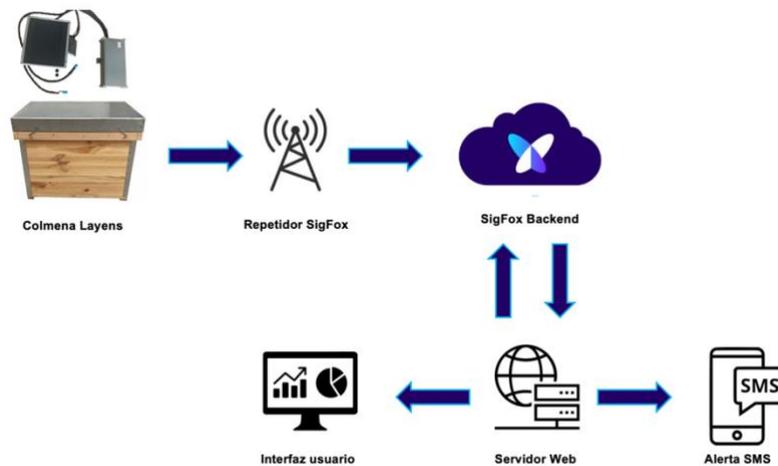
## 5. Descripción detallada de la solución adoptada

Una vez realizado el análisis de las diferentes alternativas que existen para el proyecto y justificada la solución adoptada se procede a explicar de forma detallada la integración y desarrollo de los diferentes sistemas que integran el conjunto del proyecto de monitorización para colmenas.

En la Figura 11 se observa la estructura general del sistema, desde la adquisición de datos en la colmena mediante los sensores y la placa electrónica Arduino, hasta la visualización de los datos por parte del apicultor, recibidos a través de la red de comunicación SigFox.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



**Figura 11:** Diagrama general del sistema de monitorización para colmenas

Para la realización de esta descripción detallada, el proyecto es segmentado en varios subapartados en los que se definen los bloques principales de la solución.

En primer lugar, se pasa a describir el bloque del dispositivo de monitorización para colmenas, donde se describe de forma detallada el hardware del dispositivo y también el sistema de comunicación, así como su implementación en el proyecto.

Posteriormente se detalla la programación del software del dispositivo de monitorización, así como el desarrollo de la interfaz para el usuario, la cual facilitará al apicultor la visualización de los datos recogidos en el colmenar.

Finalmente se procede a explicar la implementación del dispositivo en un entorno real como es una colmena llena de abejas, obteniendo resultados que permitan conocer posibles fallos de funcionamiento o en el diseño. Con estos resultados se plantearán mejoras y se redactarán las conclusiones generales del proyecto.

#### 5.1. Dispositivo de monitorización para colmenas

En este apartado consideramos el dispositivo de monitorización como la parte del hardware implementado en el proyecto, así como la arquitectura del sistema de comunicación.

Cabe destacar la elección de módulos y sensores comerciales desarrollados específicamente para proyectos sencillos o de prototipado, en lugar del diseño e integración de una placa electrónica dedicada para este sistema de monitorización. Esta decisión se toma en base a la fase experimental en la que se desarrolla el proyecto, para la cual se considera conveniente el uso de electrónica de prototipado. En futuras mejoras del sistema se evaluará la viabilidad del diseño de una placa de circuito impreso, partiendo de la base obtenida mediante el prototipo desarrollado en el presente proyecto.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### 5.1.1. Sensores

La monitorización de las abejas no requiere de sistemas de medición muy precisos ya que los datos recogidos son utilizados como información de apoyo para el apicultor. A pesar de esto, los sensores deben cumplir con el compromiso de bajo consumo a la vez que ofrecer datos de la colmena con cierto grado de exactitud.

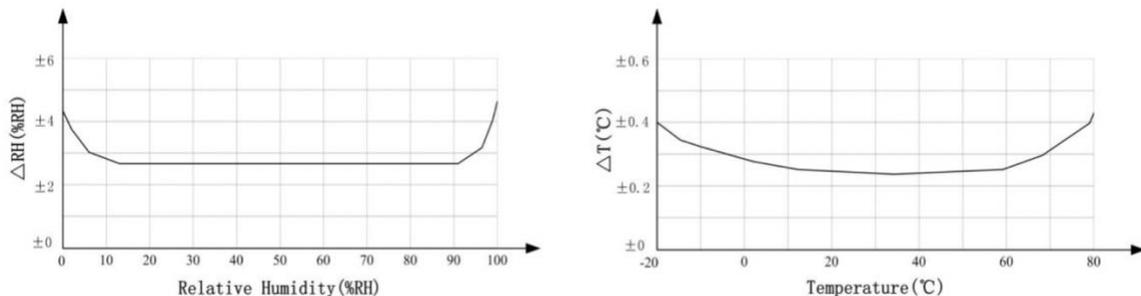
A continuación, se analizan los sensores escogidos para el prototipo, así como su implementación.

#### 5.1.1.1. Sensores de temperatura y humedad

La medición de la temperatura y humedad en la colmena es fundamental para el apicultor. Gracias a la monitorización de estas variables es posible realizar gráficos y registros de la temperatura y humedad a lo largo de los meses, pudiendo observar cómo evoluciona el estado del colmenar en función de la época del año y los parámetros ambientales, anticipando así el desplazamiento de las colmenas a zonas con diferentes condiciones climatológicas, en favor de mejorar las condiciones para las abejas.

Gracias al estudio previo de los sensores de temperatura y humedad se pasa a describir el sensor AM2302, escogido como la solución más adaptable para el proyecto a la vez que económico respecto a otros modelos de este mismo sensor.

Con un rango de temperatura de funcionamiento amplio este sensor es capaz de medir valores con una precisión de  $\pm 2\%$  para la humedad relativa y  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  para la temperatura. En la Figura 12 se observa como en el gráfico izquierdo, representando el error de humedad relativa en función del porcentaje de humedad ambiental, aumenta el error en la medida en situaciones extremas de bajo o alto nivel de humedad. Por otro lado, en el gráfico de la derecha, el error de temperatura duplica su valor con temperaturas bajas o temperaturas extremadamente altas.



**Figura 12:** Error de humedad relativa, error de temperatura AM2302

El sensor AM2302 [11] formado por un sensor capacitivo encargado de medir la humedad relativa y un sensor de temperatura cuenta también con un microprocesador de 8 bits, integrado en la carcasa plástica que encapsula el conjunto del sensor. Este

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

microcontrolador integrado es el encargado de almacenar los coeficientes de calibración para mejorar los valores medidos y también se encarga de la función de comunicación con el dispositivo maestro, en este caso el Arduino MKR FOX 1200.

Los pines de salida del sensor son únicamente 3, dos de ellos son la alimentación y el terminal negativo a 0V. La alimentación del sensor es proporcionada por la placa Arduino cuyo voltaje de suministro es 3.3V, voltaje que se encuentra dentro de las recomendaciones de voltaje de entrada dadas por el fabricante.

Un tercer pin en el sensor de temperatura y humedad es el encargado de enviar y recibir información desde el controlador Arduino al sensor y viceversa. Este pin es denominado SDA (System data), al igual que uno de los dos pines utilizados en el protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit).

El protocolo de comunicación utilizado por el sensor AM2302 es el *1-Wire* [25] o *Single-bus interface*. Con un concepto de maestro-esclavo similar al empleado en I2C pero con rango de datos más bajo, desarrollado específicamente por *Dallas Semiconductor Corp.* para la implementación en sistemas de bajo coste como sensores de temperatura y humedad.

En este sistema es muy recomendable el uso de resistencias en configuración *Pull-Up* para estabilizar el estado lógico de los bits, evitando interferencias que puedan interrumpir la comunicación. El valor de la resistencia de *Pull-Up* depende de varios factores como la capacidad del bus o el voltaje de alimentación.

Para determinar el valor de la resistencia de Pull-Up se utiliza la siguiente fórmula obtenida en el documento de especificaciones del bus I2C [26], muy similar al protocolo 1-Wire.

$$R_{\text{pull-up}} = \frac{V_{DD} - V_{oL}}{I_{oL}}$$

$V_{DD}$  representa el voltaje de alimentación del sensor, con un valor de 3.3V suministrados por el microcontrolador.  $V_{oL}$  e  $I_{oL}$  representan el voltaje máximo de salida aceptable a nivel bajo y la corriente de consumo a este voltaje. Estos dos últimos valores facilitados por el fabricante del sensor nos permiten obtener el valor de resistencia:

$$R_{\text{pull-up}} = \frac{3.3V - 0.3V}{8mA} = 375\Omega$$

La resistencia obtenida indica el valor mínimo en Ohms que debe tener en la aplicación del sensor. Según la Ley de Ohm, el uso de una resistencia con un valor óhmico bajo supone un incremento en el consumo de corriente.

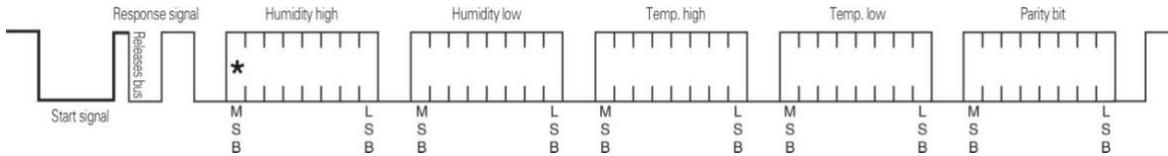
Un valor de 5.1k $\Omega$  es recomendado por el fabricante para la resistencia de *Pull-Up* para una alimentación de 5V. Se escoge una resistencia normalizada de 2.2k $\Omega$  para el sensor AM2302, consiguiendo un consumo de corriente menor.

La comunicación y sincronización entre el microcontrolador del sistema y el AM3202 tiene lugar a través del pin SDA mediante el protocolo *1-Wire* explicado anteriormente. El formato para el envío de datos ocupa un tamaño de 40 bits.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

El microcontrolador envía una señal de inicio poniendo el bus a nivel bajo, con la posterior respuesta por parte del sensor para indicar que la transmisión puede comenzar. A continuación, se produce el envío de los datos de humedad y temperatura, los cuales ocupan 2 bytes cada uno. Finalmente, como se observa en la Figura 13, se encuentra el byte de paridad conocido como *checksum*, utilizado para la verificación de los datos, detectando posibles cambios durante el envío de estos.



**Figura 13:** Secuencia de comunicación protocolo 1-Wire

La implementación de los sensores de temperatura y humedad en un espacio al aire libre propicia la aparición de errores en la medida debido a los elementos del entorno, como puede ser la variación de la temperatura de forma brusca debido a las rachas de viento o la mala colocación del sensor, quedando tapada la superficie del sensor.

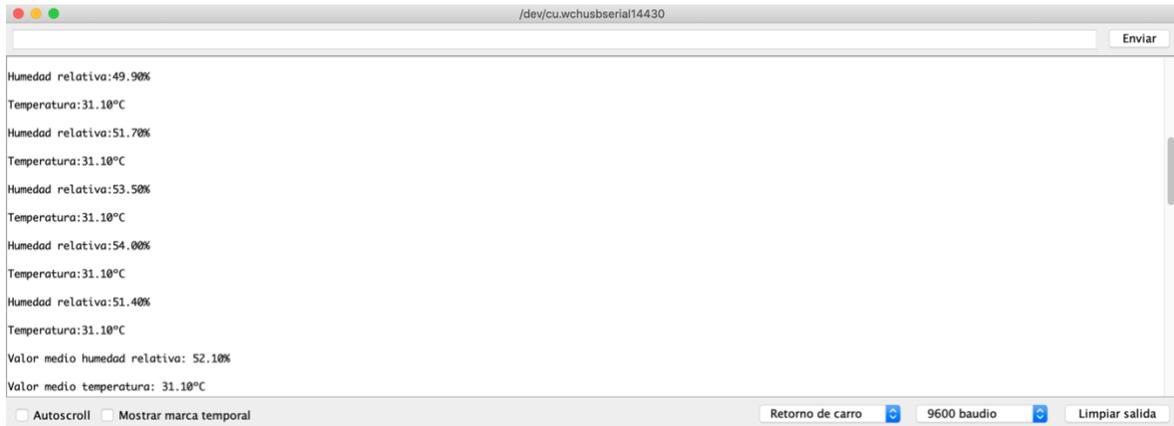
Para minimizar los errores provocados por agentes externos a los sensores se toman varias decisiones con el fin de mejorar la exactitud de los datos recogidos en la colmena. El dispositivo de monitorización cuenta inicialmente con un sensor externo para la medición de temperatura y humedad, y otro sensor interno con el mismo fin.

Se realiza una primera prueba de funcionamiento con un sensor AM2302 conectado a la placa electrónica Arduino MKR FOX 1200, obteniendo mediciones con un mayor error si la superficie de medición del sensor está en contacto con otra superficie como el suelo de la colmena. Con estos resultados se decide utilizar dos sensores de temperatura y humedad en la medición interior de la colmena con el fin de reducir los errores a la vez que se consigue una temperatura en varias partes dentro de la colmena.

La siguiente decisión para la mejora en la medición de temperatura y humedad se realiza mediante software con la iteración en la medida y el posterior cálculo del valor medio de los valores medidos. En la Figura 14 se muestran los valores medidos por un sensor DHT22 o AM2302 cada 5 segundos y el cálculo del valor medio de dichas muestras.

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



**Figura 14:** Medición de temperatura y humedad, monitor serie Arduino IDE

### 5.1.1.2. Sensor de lluvia

Para conocer de una manera más precisa los periodos de trabajo de las abejas se hace uso de un sensor de lluvia, el cual permite identificar los periodos de lluvia en la zona exacta donde están ubicadas las colmenas. A su vez, el sensor de lluvia es capaz de entregar un rango en la intensidad de lluvia, conociendo la presencia o no de lluvia y su intensidad aproximada.

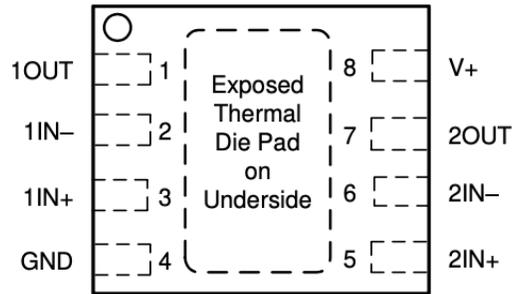
El sensor empleado en la monitorización de colmenas está formado por dos módulos. El primero de estos módulos denominado YL-83 es una placa de circuito impreso con superficie niquelada, en esta placa se encuentran dos pistas metálicas las cuales entran en cortocircuito con el contacto del agua al llover. El comportamiento de este circuito es el de una resistencia variable, el cual varía entre un rango de resistencia de  $100\text{k}\Omega$  con lluvia y  $2\text{M}\Omega$  con el circuito seco.

Un segundo módulo es la tarjeta de circuito impreso donde se encuentran resistencias con un valor de  $10\text{k}\Omega$  unidas a las pistas del YL-83. Seguidamente, encontramos un circuito integrado comparador denominado LM393 [11], el cual recibe la señal generada en el YL-83 con la presencia o no de lluvia y es comparada con una señal de referencia ajustable por potenciómetro. La salida generada por el comparador se encuentra en el pin *OUT* del integrado (ver Figura 15) y es conducida hasta el pin de salida D0 situado en la salida del circuito impreso.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Para la aplicación en el dispositivo de monitorización para colmenas se decide utilizar la patilla de salida analógica A0 conectada a una entrada del convertor A/D del microcontrolador. En el apartado número 5.2, *Software*, se implementa de forma detallada el código que permitirá interpretar de manera más precisa la presencia o no de lluvia y la intensidad de esta.



**Figura 15:** Pines de conexión LM393

#### 5.1.1.3. Sensor de posicionamiento

El sensor utilizado para la localización de la colmena es un módulo GPS llamado U-blox NEO-6M. Con un tamaño reducido este sensor integra una placa de circuito impreso donde va alojado el chip U-blox y una antena para la transmisión GPS.

El módulo cuenta con una memoria EEPROM que permite almacenar las configuraciones establecidas en el dispositivo. Esta memoria está apoyada por una batería de *backup* o respaldo, con formato botón y 3V de voltaje nominal de salida, consigue almacenar la configuración y posición del GPS hasta dos semanas sin alimentación.

El dispositivo GPS establece la comunicación con dispositivos externos mediante comunicación serie con el protocolo UART y una tasa de baudios configurable con un valor preestablecido de 9600bps (bauds per second) compatible con la velocidad de transmisión en las placas Arduino.

La norma NMEA (National Marine Electronics Association) [27] es un estándar utilizado en la comunicación entre aparatos electrónicos marinos así como receptores GPS, utilizado por el dispositivo U-blox NEO-6M como protocolo para el formato de los mensajes enviados.

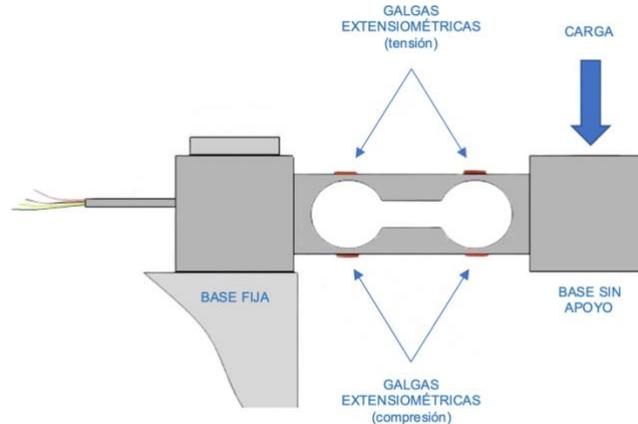
Se realiza una primera aproximación al módulo GPS y su codificación mediante una prueba de comunicación entre el sensor y el Arduino MKR FOX 1200, donde a través del IDE de Arduino se obtienen las siguientes respuestas gracias al Monitor Serial que permite enviar y recibir mensajes de texto, en este caso la respuesta ofrecida por el sensor de posicionamiento.



## MEMORIA

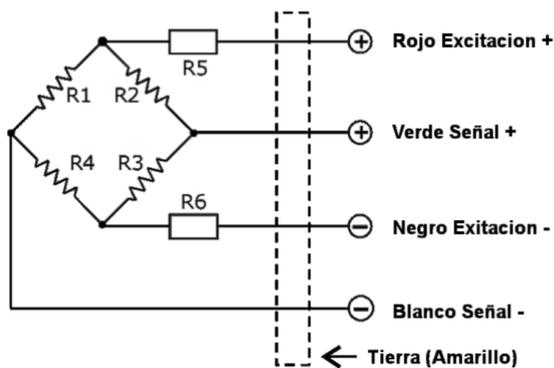
### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Se utiliza una celda de carga similar a la mostrada en la Figura 17 para el pesaje en el sistema de monitorización para colmenas. Dicha celda fabricada en aluminio cuenta con 4 resistencias variables sensibles a la deformación, también conocidas como galgas extensiométricas unidas a la superficie metálica. Para facilitar la transmisión de la fuerza aplicada en la celda hasta las galgas estas son recubiertas con un elemento elástico sensible a la tensión.



**Figura 17:** Posición de trabajo para la celda de carga WL1243

La disposición de las galgas extensiométricas en la celda es simétrica, de forma que cuando una carga es colocada sobre el dispositivo de medición, las galgas situadas en la parte superior se expanden y las situadas en la parte inferior son comprimidas ligeramente, todas ellas unidas entre sí en un formato de rombo, conocido como puente de Wheatstone.



**Figura 18:** Esquema de conexión celda de carga WL1243

La celda de carga presenta una configuración como muestra la Figura 18, con una alimentación exterior y la salida de voltaje diferencial provocada por la deformación en las galgas.

La celda empleada en la aplicación es el modelo WL1243 de 60kg fabricada por *Lexus Electronic Weighing*. Con una sensibilidad nominal de 2mV/V

podemos deducir la sensibilidad de salida del sensor en mV/kg mediante la siguiente fórmula:

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

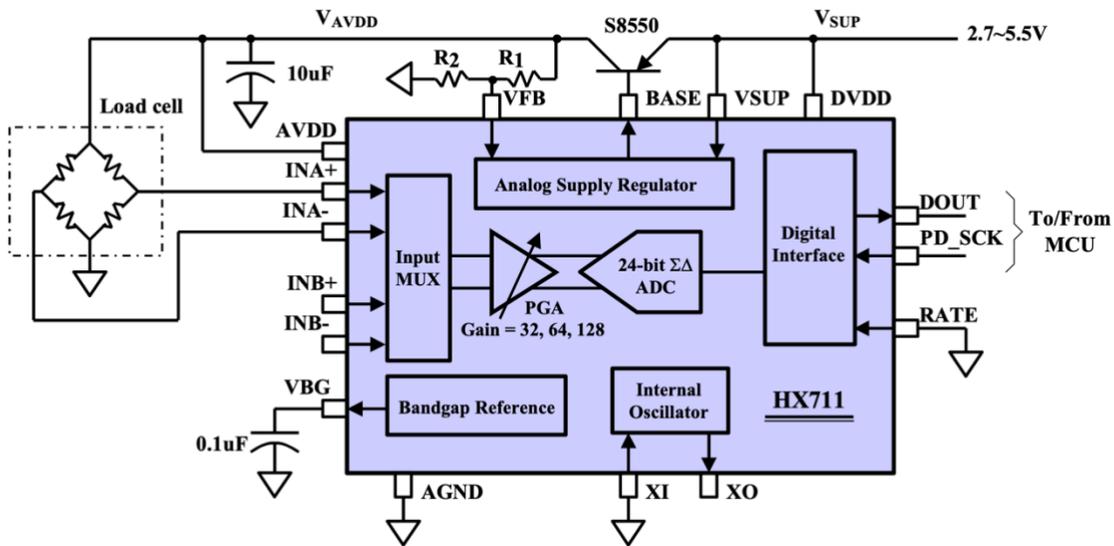
$$S \left( \frac{mV}{kg} \right) = S \left( \frac{mV}{V} \right) \cdot \frac{V_E}{FS (kg)} = 2 \left( \frac{mV}{V} \right) \cdot \frac{3.3 V}{60 (kg)} = 0.11$$

La utilización del puente de medida con 4 galgas extensiométricas permite la obtención de una respuesta lineal en la salida diferencial de tensión, dependiente de la tensión de entrada y la variación relativa de la resistencia, la tensión de entrada tiene un valor de 3.3V proporcionados por el microcontrolador.

$$V_O = V_E \cdot \frac{\Delta R}{R_0} = 3.3 V \cdot \frac{\Delta R}{350 \Omega}$$

Debido a que la señal obtenida en la celda de carga a partir de la deformación en las galgas es una señal analógica sin acondicionar, es necesario la integración de un sistema de acondicionamiento y conversión analógico/digital para que sea fácilmente interpretable. Es necesario el uso de un amplificador operacional como un *PGA* (Programmable Gain Amplifier) para adecuar el rango de tensión, además de un convertidor A/D, dispositivo capaz de transformar una señal analógica en una señal digital acondicionada para la lectura con el microcontrolador.

Se decide utilizar el transmisor HX711, el cual integra perfectamente las necesidades requeridas para el acondicionamiento y conversión de la señal. En la Figura 19 se muestra una posible configuración para el módulo HX711, con una celda de carga y una tensión de excitación entre 2.7V y 5.5V. Un amplificador operacional es utilizado a la entrada de la señal, con varias ganancias programables cuenta con una ganancia de 128V/V por defecto. Seguidamente al amplificador, la señal pasa al convertidor A/D el cual brinda una resolución de 24 bits. Esta resolución es alta debido a las necesidades requeridas por el sistema de pesaje, el que debe ser capaz de ofrecer la medida con una resolución máxima en gramos.



**Figura 19:** Aplicación típica HX711, diagrama de bloques

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Una vez elegidos los instrumentos de medición se realiza una prueba de pesaje para calibrar el sistema de báscula, buscando el establecimiento en 0 kilogramos el valor de salida de la báscula sin peso externo teniendo en cuenta el peso de la superficie de pesaje y la desviación inicial en la medida. Para ello se realiza un breve programa en el IDE Arduino donde obtendremos el valor inicial, el cual devolverá el valor de offset introducido posteriormente como “Tara” para mejorar las mediciones.

Para esta prueba se utiliza la librería del convertidor HX711, la que ofrece distintos métodos de consulta y escritura para facilitar la programación de la comunicación entre el microcontrolador y el módulo.

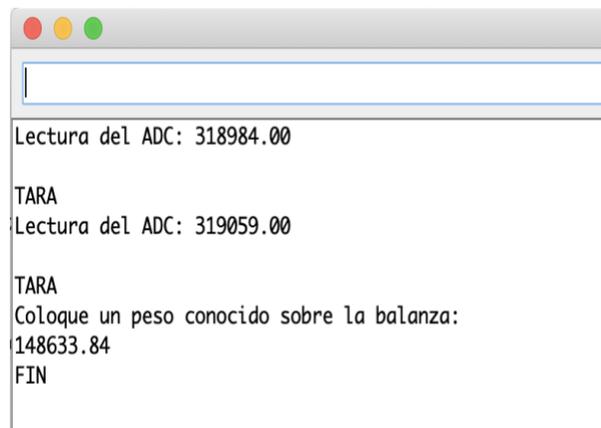
```
void HX711::tare(byte times) {  
    double sum = read_average(times);  
    set_offset(sum);  
}
```

Con el método *tare* se realiza la medición en la báscula durante un número de iteraciones determinado por la variable *times*. El valor medio obtenido es establecido como valor de offset.

Con el valor de la tara establecido, las próximas mediciones partirán de un valor próximo a 0. A continuación, se utiliza un peso conocido para establecer la escala entre el valor sin escalar y el peso en kg. Un peso conocido de 2kg es colocado encima de la balanza posterior a la tara del instrumento (ver Figura 21).



**Figura 21:** Sistema de pesaje con celda de carga WL1243 y Arduino IDE



**Figura 20:** Prueba de calibrado sistema de pesaje, monitor serie Arduino IDE

El valor sin escalar medido para el peso conocido es de 148633.84 (ver Figura 20), por lo que se divide dicho valor entre el peso en kg, obteniendo el siguiente factor de escala:

$$\text{Factor Escala} = \frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Conocido (kg)}} = \frac{148633.84}{2} = 74316.92$$

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Con la escala y gracias a la librería "HX711.h" es sencilla la integración del sistema de pesaje en el dispositivo de monitorización para colmenas. En el código fuente del microcontrolador se programa la medición de peso en la báscula teniendo en cuenta la tara y la escala obtenida.

#### 5.1.2. Soportes y carcasa

La utilización de componentes electrónicos para una aplicación como es el dispositivo de monitorización para colmenas hace necesario el uso de soportes y/o carcasas que faciliten la adaptación a la colmena a la vez que protegen dichos componentes de las inclemencias temporales, así como de agentes externos como animales, polvo, etc.

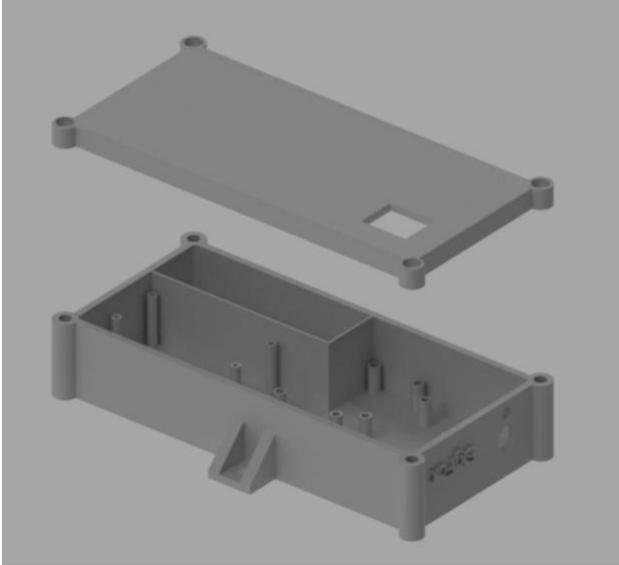
Para el diseño de las piezas que protegen los componentes del instrumento se ha utilizado un software de diseño 3D llamado Autocad 3D. Esta herramienta de diseño facilita en gran medida el desarrollo de las piezas a la vez que permite la visualización previa a la fabricación de los soportes.

El desarrollo de los soportes comienza con la distribución de los componentes electrónicos en la colmena. Se distribuyen las piezas en tres agrupaciones, la primera de ellas es la carcasa principal, la cual va a integrar el microcontrolador y diversos componentes como placas de circuito impreso, cableado o batería. Un segundo grupo son los componentes situados en la parte superior de la colmena, como son la celda solar y el sensor de lluvia encapsulados en un soporte. Por último, el sistema de pesaje está formado por la celda de carga y los soportes que aguantan el peso de la colmena a la vez que facilitan su colocación sobre la báscula.

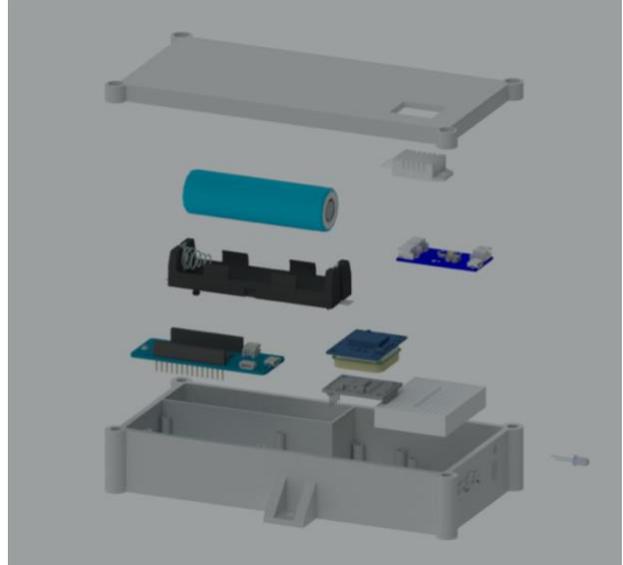
La carcasa principal es diseñada conforme a los elementos alojados en su interior (ver Figura 22), así como respecto a la ubicación en la colmena. Se realiza el diseño de esta pieza utilizando como referencia una colmena de tipo *Layens* [28] y con la ubicación de la carcasa en la parte inferior de la colmena, utilizando para este primer prototipo una sujeción atornillada a la madera de la caja (ver Figura 23).

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



**Figura 22:** Carcasa principal y tapa, modelo 3D



**Figura 23:** Vista explosionada carcasa principal, tapa y componentes electrónicos, modelo 3D

El soporte situado en la parte superior de la colmena es el diseño con mayor complejidad técnica (ver Figura 24), debido a la necesidad de fácil desmontaje para no dificultar la apertura de la tapa de la colmena durante los trabajos de supervisión por parte del apicultor o para facilitar el transporte de las colmenas, las cuales se apilan para su transporte durante los periodos de trashumancia.

Se plantea un diseño de soporte con un marco de sujeción para fijar la celda solar a la estructura. Con la integración de tres imanes de neodimio se consigue solucionar la problemática de modularidad, ya que gran parte de las colmenas cuenta con una tapa de madera recubierta de chapa metálica.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



**Figura 24:** Vista explosionada soporte para celda solar y sensor de lluvia, modelo 3D

El sensor de lluvia integrado también en este soporte es posicionado con un ángulo de  $45^\circ$  (ver Figura 25), cuya finalidad es la evacuación del agua de lluvia, evitando la acumulación de agua sobre la superficie metálica del sensor.



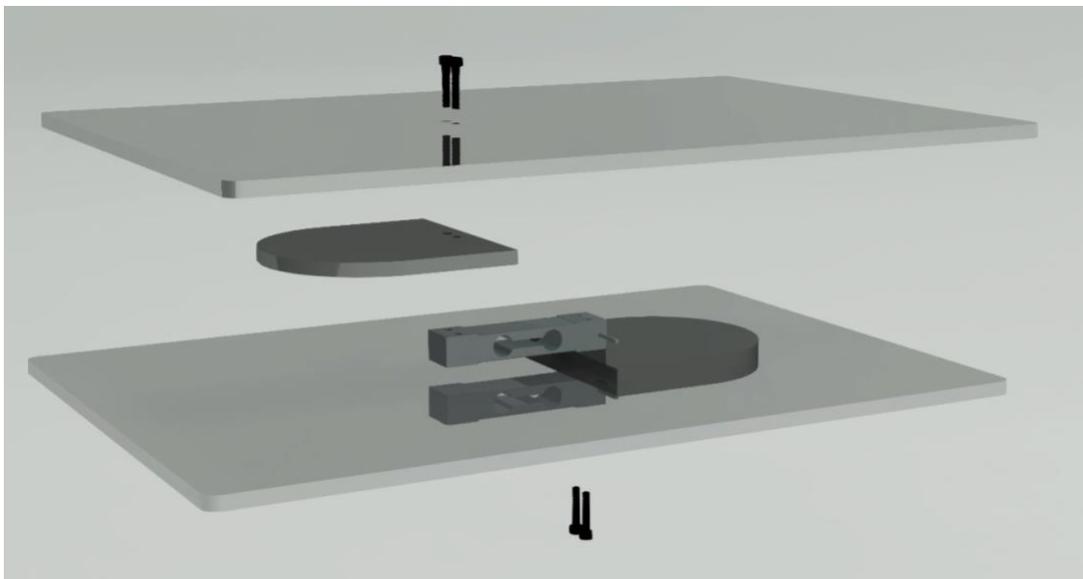
**Figura 25:** Inclinación sensor de lluvia YL-83, detalle modelo 3D

El tercero de los diseños es el sistema de pesaje (ver Figura 26), formado por la celda de carga como elemento central. La sujeción de la celda es atornillada por los extremos, evitando interferir en la zona donde están situadas las galgas extensiométricas, con dos

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

espaciadores. Dos placas formarán la base y la parte superior de la báscula, con un tamaño adecuado para la colmena.



**Figura 26:** Vista explosionada sistema de pesaje con celda de carga WL1243, modelo 3D

Para reducir los costes de fabricación de las piezas de sujeción se elige el plástico como material para la fabricación de la carcasa principal y el soporte situado en la tapa. Estas piezas son fabricadas en impresión 3D con plástico ABS, el cual cumple los requisitos de robustez y bajo coste suficientes para el prototipo desarrollado en el presente proyecto.

El sistema de peso no es posible realizarlo con un material plástico debido a la resistencia estructural requerida para soportar objetos de hasta 60kg. Por ello se fabrican en material metálico los espaciadores y placas de la balanza, en concreto con aluminio, resistente a la corrosión y ligero respecto a otros metales.

En el documento número 2, *PLANOS*, se detallan las dimensiones de cada una de las piezas de los soportes y carcasa.

#### 5.1.3. Microcontrolador

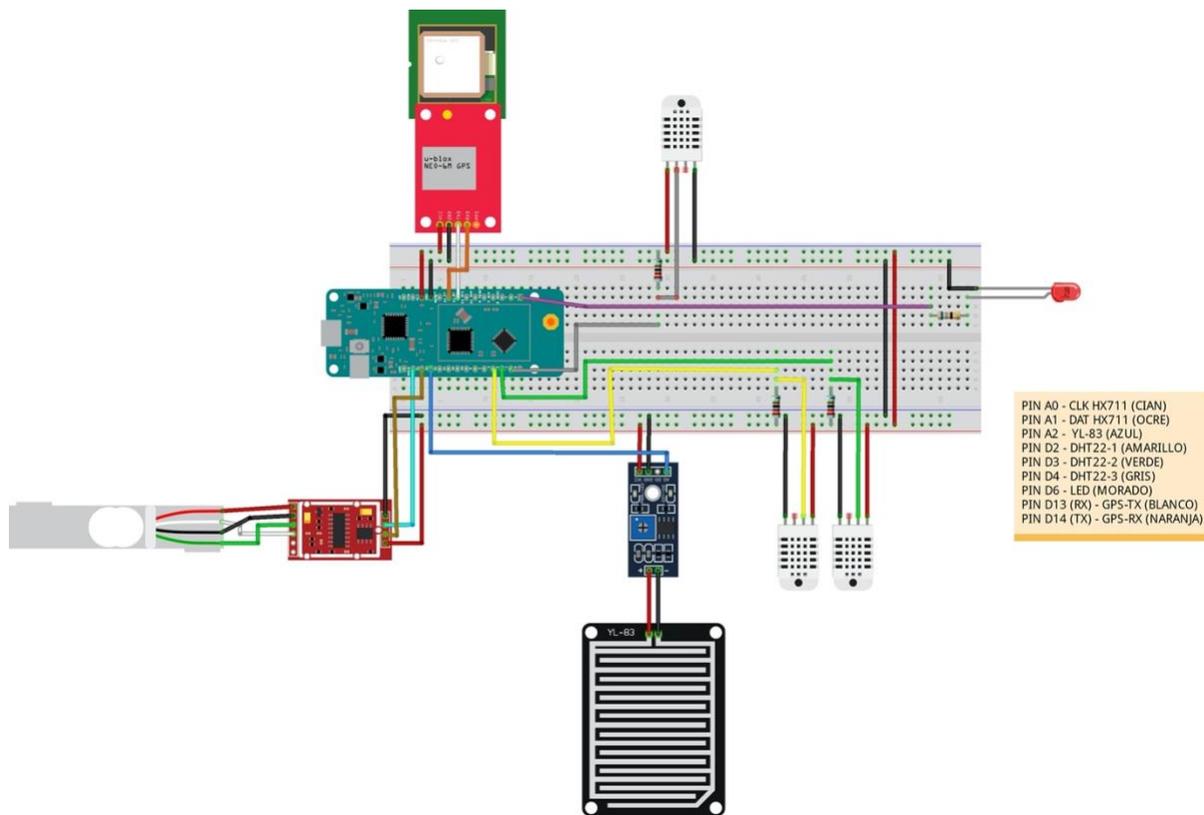
La elección de la placa electrónica Arduino MKR FOX 1200 como el dispositivo de control en el sistema de monitorización para colmenas se debe a las características ofrecidas por el microcontrolador Atmel SAMD21 Cortex-M0+ y el módulo SigFox ATA8520 integrado en la misma placa. Además de tener un tamaño y coste reducido, las múltiples entradas y salidas analógicas del microcontrolador permiten la integración de numerosos sensores y actuadores, siendo fácil la integración de los módulos utilizados en el dispositivo de monitorización.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Se observa el esquema de conexionado entre el dispositivo Arduino MKR, los diferentes módulos y componentes electrónicos (ver Figura 27). El módulo Ublox NEO-6M conectado a la alimentación del dispositivo se comunica con el mismo mediante los pines TX y RX, conectados a los pines digitales 13 y 14 respectivamente. Los tres sensores de temperatura y humedad, dos internos y un sensor colocado en el exterior de la colmena, conectados a la resistencia de *Pull-UP* y sus pines digitales conectados a los pines digitales 2 3 y 4 del microcontrolador.

El módulo del convertidor analógico/digital HX711 es conectado a las entradas analógicas 0 y 1, con sus pines de reloj y datos conectados en ese orden. Un último módulo es el sensor de lluvia con el circuito comparador, conectado a la entrada analógica 2, ofreciendo al microcontrolador el valor medido en la placa detectora en un rango de 0 a 1023 valores, siendo 1023 el máximo nivel de sequedad en la superficie del módulo.



**Figura 27:** Esquema de montaje general dispositivo de monitorización para colmenas, Fritzing

En el montaje se integra un LED cuya funcionalidad se basa en la repetición de la secuencia de parpadeo generada en el LED integrado en la placa. Aprovechando el pin digital número 6, unido a este diodo integrado, se conecta el LED externo para replicar la secuencia de parpadeo que tiene lugar al enviar un mensaje a través del módulo SigFox de manera satisfactoria, ofreciendo así un apoyo visual para el apicultor conociendo si el módulo está

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

funcionando correctamente y si la zona donde está situado el colmenar recibe señal suficiente para la comunicación SigFox.

Debido a las características de funcionamiento del LED será necesario el uso de una resistencia entre el componente y la salida digital del microcontrolador, reduciendo así la corriente a la nominal requerida por el diodo.

PART NUMBER	4304H1
Output Color	Red
Diffusion	Diffused
Package Color	Red
Test Current (mA)	10
Forward Voltage Typ. (V)	2.0

**Figura 28:** Características diodo LED 4303H1

Se utiliza un LED de color rojo con el número de identificación 4303H1 [29]. Este diodo funciona a una tensión típica de 2 V y una corriente de 10mA (ver Figura 28).

Las salidas digitales del microcontrolador Arduino ofrecen una corriente de 7mA y un voltaje de 3.3V, por lo que se pasa a calcular mediante la ley de Ohm la resistencia necesaria para la integración en el proyecto.

$$R_{LED}(\Omega) = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{3.3 - 2 (V)}{7 \cdot 10^{-3}(A)} = 185.71\Omega \approx 180\Omega \text{ (resistencia normalizada)}$$

Queda fuera del esquema de conexión la parte de alimentación del dispositivo, ya que la placa de control recibe únicamente energía por la entrada USB que integra. En el siguiente apartado se explica en detalle la implementación del sistema de alimentación.

#### 5.1.4. Sistema de alimentación

La energía suministrada al microcontrolador y los diferentes componentes conectados en el sistema de monitorización es ofrecida por varias vías. Para el almacenamiento de energía se emplea una celda de litio ion cilíndrica, en concreto una celda de tipo 21700 referido este valor al diámetro de la pila (21mm) y a su altura (700mm). El nombre comercial de la celda empleada es Samsung INR21700-50E [30] cuya capacidad supera los 4900mAh según los datos proporcionados por el fabricante con una tasa de descarga de 0.2C y una capacidad relativa del 100%. La letra C simboliza la tasa de corriente que carga o descarga la batería respecto al valor de capacidad nominal en amperios hora (Ah).

Esta batería cuenta con una vida útil de 1000 ciclos de carga y descarga hasta un 80% de la capacidad relativa, a partir de este momento la energía que puede almacenar la batería se reduce drásticamente.

Debido al voltaje de alimentación de la placa Arduino a 3.3V es necesario el uso de un regulador de voltaje lineal, ya que la celda empleada libera su energía en el rango de los 3.2V a los 4.2V aproximadamente. Además, para aumentar la autonomía del sistema de monitorización para colmenas se integra una celda solar que carga la batería a la vez que suministra energía a los circuitos electrónicos.

La elección de una celda solar para el sistema de monitorización está condicionada principalmente al precio, voltaje de funcionamiento y la potencia efectiva suministrada.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

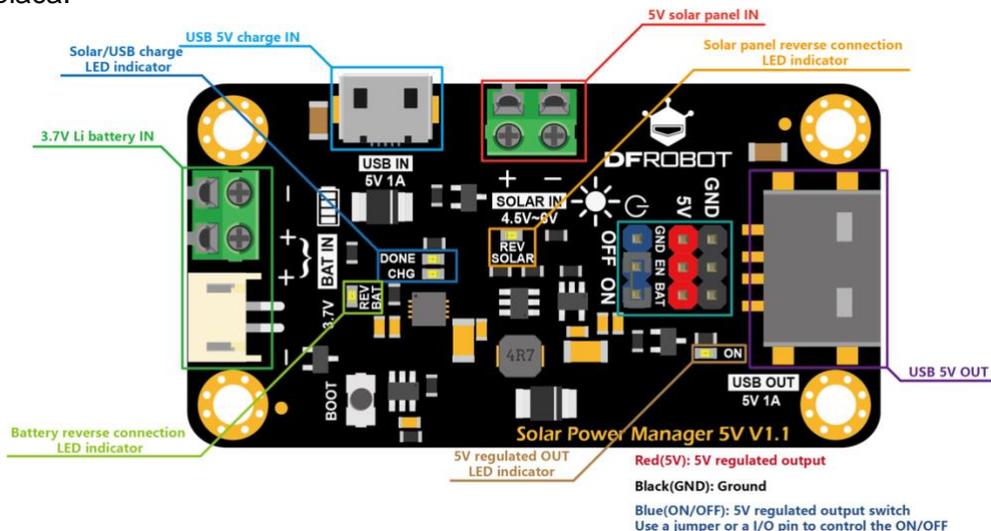
Se utiliza un panel solar policristalino con encapsulado y un tamaño reducido de 130x150mm.

La eficiencia del panel solar es un parámetro relevante ya que es un indicativo de la calidad y rendimiento que ofrece el módulo. A pesar de que el fabricante no facilita este dato en muchas ocasiones es posible obtenerlo mediante la siguiente fórmula, donde  $P_p$  representa la máxima potencia del panel en watts, y "A" es el área de la superficie que ocupa el panel en metros.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{P_p}{A \cdot 10} = \frac{2.5}{(0.13 \cdot 0.15) \cdot 10} = 12.82\%$$

El valor obtenido para la eficiencia no es muy elevado en comparación con otras celdas solares comerciales, a pesar de esto la eficiencia que ofrece el producto es suficiente para la aplicación en la colmena ya que su función es el apoyo al sistema principal de alimentación, la batería.

La gestión de la energía proveniente del sol y el suministro de corriente hacia la placa es manejada por un módulo de gestión de carga solar y baterías de litio denominado DFR0559 producido por DFRobot. Este circuito impreso integra hasta cuatro entradas distintas (ver Figura 29), mediante placa solar, batería de litio o una entrada USB. La salida es regulada en corriente y tensión, con 5V y 1A de forma continua cuando una entrada está alimentando la placa.



**Figura 29:** Descripción general componentes DFR0559

El encargado de la gestión de la energía que entra y sale de la placa es el circuito integrado CN3065[x]. Este chip es un cargador de baterías lineal, con un MOSFET interno y un convertidor analógico/digital que permite regular la corriente de carga, así como proteger a la batería de sobrecargas, sobredescargas y también de cortocircuitos en el puerto de salida.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Es importante conocer la autonomía que ofrece el dispositivo de monitorización ya que esta condiciona la funcionalidad del sistema. La energía que ofrece la batería y el sistema de alimentación debe ser suficiente para los periodos de varias semanas o meses durante los cuales el apicultor no visita el colmenar donde esté situado el dispositivo de monitorización. El análisis y prueba de rendimiento del sistema de almacenamiento de energía debe ser considerado para una próxima versión del prototipo de monitorización de colmenas.

#### 5.1.5. Sistema de comunicación

La transmisión de los datos recogidos en la colmena se lleva a cabo mediante la comunicación SigFox. Existen varios factores limitantes en el envío de los datos a través de esta red. Por un lado, la frecuencia de envío de mensajes desde un dispositivo transmisor no puede superar los 140 mensajes diarios, equivalente a un mensaje cada 10 minutos aproximadamente. Esta limitación es debida a la utilización de las bandas libres ISM, donde SigFox limita el número de transmisiones para cumplir con las regulaciones de potencia transmitida en estas bandas.

La segunda característica que conforma el protocolo de comunicación establecido por la compañía es el envío de paquetes de datos pequeños, con un *payload* o conjunto de datos útiles de 12 bytes de información por cada envío. Este formato reducido de paquetes permite reducir drásticamente el consumo de energía durante las transmisiones.

A pesar de la cantidad reducida de información que es posible enviar a través de un módulo SigFox es suficiente para la aplicación en el dispositivo de monitorización para colmenas, pudiendo enviar los diferentes datos de temperatura, localización, etc. en un mismo paquete. Para conseguir el envío de toda la información recogida por los sensores en un solo paquete de datos es necesario la selección de los datos enviados y la optimización del tamaño que ocupa cada uno de estos datos mediante la programación del código.

Puesto que se toma la decisión de utilizar dos sensores de temperatura y humedad para el interior de la colmena con la finalidad de mejorar la medición se calcula mediante código el valor medio de las dos mediciones, obteniendo así un único valor con mayor precisión y ocupando un espacio menor.

Después de varias pruebas de funcionamiento con los sensores de temperatura y humedad se desestima la utilización de los valores de humedad relativa medidos. Se observa en estas pruebas un cambio notable de humedad en un entorno estático y con una humedad relativamente estable, además los valores medidos no concuerdan con los valores de humedad ofrecidos por las estaciones meteorológicas locales en el momento de la medición.

Con el objetivo de reducir al máximo el espacio ocupado por los valores medidos en el sistema de monitorización a continuación se detallan los tipos de variables escogidos para dichos valores.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Variable	Tipo	Bytes	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte 8	Byte 9	Byte 10	Byte 11
Temperatura interior	int8_t	1	X											
Temperatura exterior	int8_t	1		X										
Lluvia	uint8_t	1			X									
Peso	uint8_t	1				X								
Latitud	float	4					X	X	X	X				
Longitud	float	4									X	X	X	X

**Tabla 1:** Variables enviadas en un paquete de datos con SigFox

En la Tabla 1 aparecen las seis variables obtenidas mediante la medición de los sensores. Las primeras dos variables son la temperatura exterior e interior de la colmena, para las cuales se declaran variables de tipo `int8_t`. Este es un número entero de 8 bits con signo, lo que equivale a un rango entre -128 y 127, adecuado para medir temperaturas hasta las condiciones más extremas posibles.

Las variables *Lluvia* y *Peso* son declaradas como tipo `uint8_t`, equivalentes al tipo de dato *byte* con un rango desde 0 a 255 valores. El peso está en un rango entre 0 y 60kg como el valor máximo soportado por la celda de carga. A pesar de la precisión en la medida ofrecida por el módulo HX711 se toma un valor entero sin decimales en el peso de la colmena, priorizando la reducción de espacio.

La variable *Lluvia* es medida con un rango entre 0 y 1023 valores por defecto. Aprovechando la flexibilidad que ofrece el conversor analógico/digital del dispositivo, se configura con una resolución de 8 bits, reduciendo la cantidad de bytes utilizados a un rango entre 0 y 255 valores. El tipo de dato para esta variable es `uint8_t`, coincidiendo con la resolución del convertidor. En el apartado número 5.2, *Software*, se detalla la configuración de la resolución de entrada.

Los datos anteriormente detallados tienen un tamaño de un byte por variable, ocupando desde el byte número 0 hasta el byte número 3, quedando 8 bytes libres.

Finalmente, los datos relativos a la localización del dispositivo de monitorización son simplificados obteniendo dos valores utilizados en la transmisión. La latitud y longitud son medidas por el dispositivo GPS, sin tener en cuenta la altitud u otros parámetros será suficiente para determinar la posición estimada de la colmena.

Las dos variables mencionadas anteriormente son del tipo *float*, ocupando un total de 4 bytes por variable, y completando así el largo total del mensaje de 12 bytes.

Los datos transmitidos a través del módulo SigFox son enviados a sus servidores en la nube, donde son almacenados y mostrados de una manera amigable para el usuario gracias a la página web *SigFox Back-End*. Este servicio permite la configuración de dispositivos asociados a la red SigFox, reenvío de los datos transmitidos a otras plataformas o usuarios finales, integración de API's (Application Programming Interfaces) entre otras funcionalidades.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Para conseguir enviar los datos recogidos en la colmena hasta un punto final es necesario realizar una serie de pasos en la configuración de *SigFox Back-End*. Después de acceder a dicha web y registrar un usuario y contraseña es necesario asociar el dispositivo, en este caso Arduino MKR FOX 1200, al usuario creado.

Primero se crea un grupo, que sirve como clase para asociar los usuarios, dispositivos y configuraciones establecidas. Antes de asociar el dispositivo al sistema es necesaria la creación de un *Device Type* (ver Figura 30), esto sirve para la rápida identificación de dispositivos asociados al sistema cuya configuración es la misma, por ejemplo, cuando varios dispositivos de monitorización para colmenas son utilizados por un mismo usuario. En la siguiente figura se muestra la pantalla de creación de un nuevo tipo de dispositivo,

#### Device type - New

The screenshot shows a web form titled "Device type - New". It is divided into two main sections. The first section, "Device type information", contains several input fields: "Name" with the value "MonitorV1.0", "Description" with the value "Dispositivos de monitorización para colmenas", "Keep-alive (in minutes)" with the value "0", "Subscription automatic renewal" which is checked, "Contracts" which is an empty text box, and "Alert email" which is an empty text box. Below the "Alert email" field is a note: "If we fail to call one of your callbacks, an email will be sent to the address below so that you can take action to fix the problem." The second section, "Payload display", contains a dropdown menu for "Payload parsing" set to "Regular (raw payload)". At the bottom of the form are "OK" and "Cancel" buttons.

**Figura 30:** Creación de un Device type, SigFox Back-end

Dentro del grupo creado es necesario registrar la placa utilizada para el sistema de monitorización para colmenas, completando los apartados de *Identifiier* y *PAC* (ver Figura 31), identificativos únicos para cada dispositivo que son proporcionados por el fabricante.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### Device 1D9CEC - Edition

Device information

Identifier (hex) 1D9C

Name Arduino\_DevKit\_1-device

PAC 590009026

End product certificate P\_00C1\_1366\_01

Where can I find the end product certificate?

Lat (-90° to +90°) 0.0

Lng (-180° to +180°) 0.0

Map [Locate on map](#)

Subscription automatic renewal

Ok Cancel

**Figura 31:** Registro de dispositivo, SigFox Back-end

Con el dispositivo configurado es necesario un último paso para redirigir los datos almacenados en la plataforma hasta otro punto. Esta redirección de los datos es llamada *Callback*, cuya ubicación en la web se encuentra dentro del apartado *Device Type*.

En la creación de una redirección o *Callback* se indica el tipo de mensaje, *DATA* en el caso del dispositivo de monitorización y *UPLINK*, referido al envío de los datos desde el dispositivo hacia los servidores y no al contrario.

nombre:byte\_index:type\_def:bits

①      ②      ③      ④

**Figura 32:** Estructura variables payload, SigFox Back-end

La implementación del proyecto se obvia esta posición. Seguidamente es identificado el tipo de dato, así como el tamaño que ocupa en bits.

Las variables de temperatura, lluvia, peso y localización enviadas por el dispositivo de monitorización son especificadas en el apartado de *Custom payload config* (ver Figura 32). Cada variable es identificada con su nombre seguido de un separador ":". El siguiente valor es referido a la posición de la variable en bytes dentro del mensaje, pero en

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

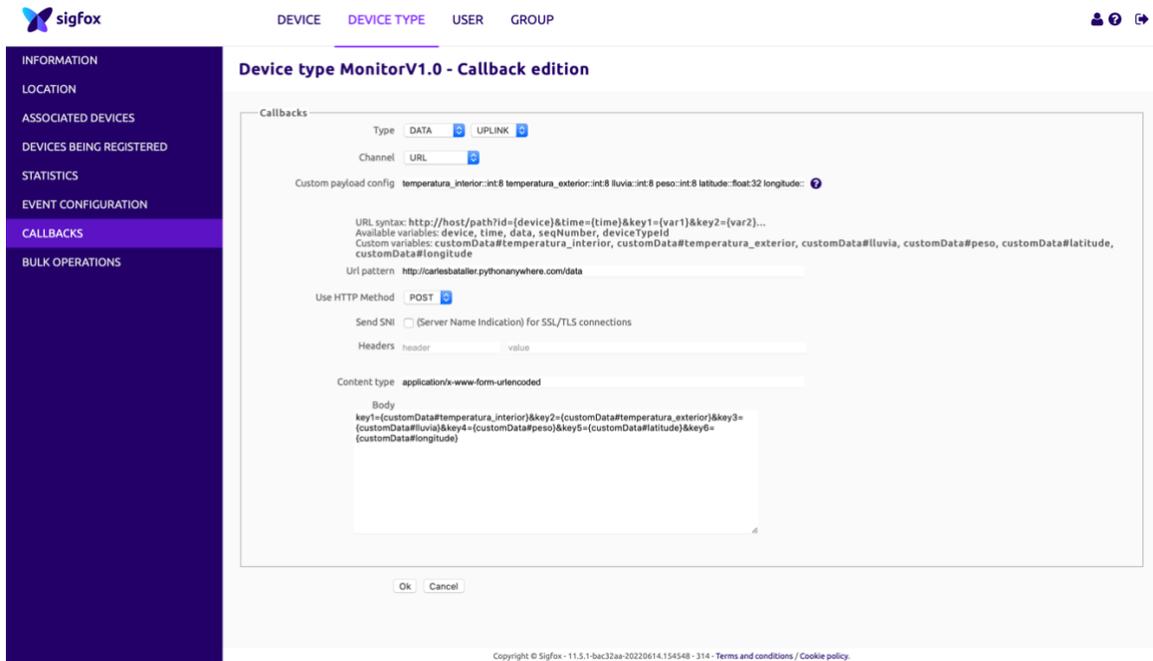


Figura 33: Configuración Callback, SigFox Back-end

El canal por donde son transmitidos los datos es una *URL*, una dirección web donde mediante el método HTTP POST los datos son enviados hasta la dirección especificada. Este método de envío es utilizado para transmitir a un servidor una acción o enviar datos cuando un evento ejecuta dicha dirección *URL*.

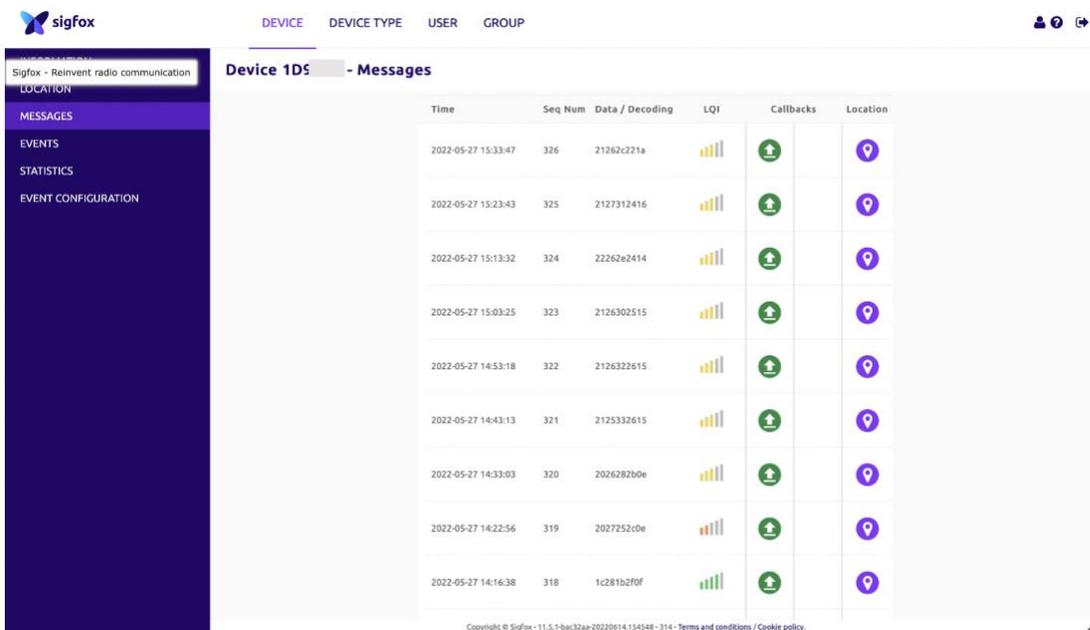
El formato de encapsulamiento de los datos es el formato *url encoded*, el cual concatena los valores medidos con un formato de clave valor sin espacios. Con el formato *{customData#value}* siendo *value* el nombre de la variable (ver Figura 33), se consigue integrar los datos en el formato mencionado.

Cuando se produzca el envío desde el dispositivo de monitorización hasta los servidores SigFox el *Callback* es ejecutado, recibiendo los valores medidos en el servidor del cliente. La recepción de estos datos es detallada en el apartado número 5.2, *Software*.

Es posible la comprobación de recepción o no recepción de un mensaje, así como la visualización de los datos enviados, fecha del envío y más información gracias al apartado de mensajes en la página web de SigFox (ver Figura 34).

# MEMORIA

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2022-05-27 15:33:47	326	21262c221a	4	+	📍
2022-05-27 15:23:43	325	2127312416	4	+	📍
2022-05-27 15:13:32	324	22262e2414	4	+	📍
2022-05-27 15:03:25	323	2126302515	4	+	📍
2022-05-27 14:53:18	322	2126322615	4	+	📍
2022-05-27 14:43:13	321	2125332615	4	+	📍
2022-05-27 14:33:03	320	2026282b0e	4	+	📍
2022-05-27 14:22:56	319	2027252c0e	4	+	📍
2022-05-27 14:16:38	318	1c281b2f0f	4	+	📍

Figura 34: Lista de mensajes recibidos, SigFox Back-end

## 5.2. Software

La programación del software toma gran importancia en un proyecto relacionado con el IoT, como es el caso del dispositivo de monitorización para colmenas. La correcta programación del código fuente, así como la optimización de este son fundamentales para conseguir un sistema funcional y adaptativo a diferentes situaciones.

Se diferencian dos grupos en la programación del sistema de monitorización, uno de ellos escrito en lenguaje Arduino, el cual está basado en el lenguaje de programación C++. Debido a que la placa de control ha sido desarrollada por Arduino la utilización de su entorno de desarrollo hace sencilla la programación y optimización del código.

Un segundo grupo, programado en lenguaje Python es donde se realiza el tratamiento de los datos obtenidos en la colmena, redirigidos previamente en los servicios de SigFox Backend. En este grupo se define la funcionalidad de la interfaz visual, brindando al apicultor varios métodos para recibir y analizar la información medida en el colmenar.

### 5.2.1. Arduino

El lenguaje de programación C++ [31] creado en 1979 por Bjarne Stroustrup es una extensión del lenguaje C, cuya mejora se centra en la programación orientada a objetos añadida a las funcionalidades de la programación en C.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

La placa Arduino MKR FOX 1200 utilizada en el proyecto hace uso de este lenguaje de programación, aunque gracias al desarrollo de librerías y funcionalidades por parte de Arduino y desarrolladores de software la programación de los microcontroladores ofrecidos por Arduino es intuitiva y modularizada.

Por tanto, la programación del microcontrolador y los sensores asociados al dispositivo de monitorización para colmenas es realizada en lenguaje Arduino. A continuación, se detallan partes del código fuente desarrollado para facilitar su comprensión.

Las librerías utilizadas en el código facilitan la integración de los módulos de sensores. La librería SigFox ofrece diferentes funciones para el control del módulo SigFox ATA8520 integrado en la placa. Las tres librerías incluidas relativas a los sensores de temperatura y humedad, peso y GPS son empleadas en los métodos creados.

```
#include <SigFox.h>
#include <DHT.h>
#include "HX711.h"
#include <TinyGPS.h>
```

La definición de los pines donde son conectados los sensores está detallada en el código fuente, a diferencia de los pines utilizados para la comunicación serial entre el microcontrolador y el GPS, el cual es conectado a los pines 13 y 14 de la placa, RX y TX respectivamente para la placa Arduino MKR FOX 1200.

```
//Digital pins 13 and 14 used for RX-TX transmission with GPS
```

En la creación de variables globales cabe destacar la variable *struct*, estructura compuesta por diferentes tipos de variables que permite englobarlas en un único conjunto facilitando su utilización en distintos métodos.

VARIABLES COMO LATITUD O TEMPERATURA SON DECLARADAS CON EL TIPO DE DATO ADECUADO PARA UNA OPTIMIZACIÓN MÁXIMA RESPECTO AL ESPACIO OCUPADO POR LAS VARIABLES. LOS OBJETOS SON CREADOS PARA LAS CLASES DE LAS LIBRERÍAS UTILIZADAS CON LOS SENSORES.

```
char GPS_char;
struct gps_coordenadas { //Struct for gps variables
    float a_latitude;
    float a_longitude;
};

float latitude, longitude; //Positioning variables
int8_t temperatura_exterior, temperatura_interior; //Measured variables
declaration
uint8_t peso, lluvia;
String pos; //Position, latitude - longitude

DHT dht22(DHTPIN22, DHTTYPE22); //Object creation
DHT dhtexterior1(DHTPIN1, DHTTYPE1);
DHT dhtexterior2(DHTPIN2, DHTTYPE2);
TinyGPS gps;
```

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

HX711 balanza;

El proceso de lectura de los sensores es definido en varios métodos, los cuales son llamados posteriormente en el bucle principal del programa.

En el método SendSigfox() se realiza la secuencia de activación, envío de datos y apagado del módulo SigFox. El método SigFox.begin() provoca la activación del módulo de transmisión, así como SigFox.debug() que activa el modo depuración.

El encapsulado de los datos medidos en los diferentes sensores comienza con la función SigFox.beginPacket() el cual da inicio al proceso del envío de un paquete de datos.

SigFox.write() y SigFox.print() son dos métodos para enviar la información recogida hasta los servidores SigFox. SigFox.write() utilizada en el proyecto para el envío de las variables de temperatura, peso y lluvia como datos binarios. La función SigFox.print() a diferencia de la anterior función envía los datos como un carácter o una serie de caracteres.

```
SigFox.beginPacket(); //Begins de process of sending a packet of data
SigFox.write(temperatura_interior); //.write(), sends binary data to
SigFox back-end
SigFox.write(temperatura_exterior);
SigFox.write(lluvia);
SigFox.write(peso);
SigFox.print(pos); //.print(), sends characters data to SigFox back-end
```

La función getGPS() realiza la tarea de lectura en el puerto serie creado para el módulo GPS, donde posteriormente mediante el método f\_get\_position() de la librería TinyGPS se obtienen las variables de posición, latitud y longitud. Finalmente con el método convertGPS() estas variables son transformadas en un dato tipo *String* preparado para enviar la posición en una cadena de caracteres.

```
void getGPS() {
    while (Serial1.available()) {
        int GPS_char = Serial1.read(); //Read serial output
        if (gps.encode(GPS_char)) {
            gps.f_get_position(&latitude, &longitude); //Get variables value
            relative to latitude and longitude
            gps_coordenadas coordenadas = {longitude, latitude};
            pos = convertGPS(&coordenadas, sizeof(gps_coordenadas));
            //Conversion of data, store into a string
        }
    }
}
```

Las temperaturas interiores y exteriores de la colmena son medidas con la llamada al método correspondiente. En el caso de la temperatura exterior puesto que se utilizan dos

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

sensores, se realiza la medición y cálculo del valor medio de ambas mediciones. Posteriormente, el valor obtenido es convertido al tipo de dato `int8_t` y guardado en las variables declaradas en la cabecera del programa. Las variables de lluvia y peso son medidas con sus correspondientes métodos y la posterior conversión del dato para el envío a través de SigFox.

```
void getTemperaturaExterior(){  
  
  // Read temperature as Celsius  
  float t1 = dhtexterior1.readTemperature();  
  float t2 = dhtexterior2.readTemperature();  
  
  float t = (t1 + t2) / 2.0; //Average value between the two measures  
  temperatura_exterior=(int8_t)t;  
  delay(250);  
}
```

Las funciones `setup()` y `loop()` son ejecutadas por el microcontrolador de forma automática. En el caso de la función `setup()` el código que contiene es ejecutado una única vez, normalmente utilizado para inicialización de variables. Se inicializan en el caso del dispositivo de monitorización, los distintos sensores y los puertos serie de la placa y el módulo GPS.

Una de las características diferenciadoras de la placa Arduino MKR FOX 1200 es la posibilidad de configuración de la resolución para las entradas analógicas. Puesto que es necesario optimizar el tamaño de las variables se configuran con una resolución de 8 bits los pines analógicos de entrada.

```
analogReadResolution(8); //Configure analog input conversor resolution to  
8-bit
```

La inicialización del módulo de pesaje es continuada por el establecimiento de un factor de escala, calculado anteriormente para la báscula desarrollada en el proyecto. Por último, mediante la medida iterada en 20 veces, se establece un peso nulo para posteriormente colocar la colmena, eliminando así pesos externos.

```
balanza.begin(DOUT, CLK);  
balanza.set_scale(74316.92); // Prestablished scale for measuring weight  
balanza.tare(20); //Tare setting
```

### 5.2.2. Python

El lenguaje de programación Python [32] es un lenguaje de alto nivel el cual ofrece un código legible y fácilmente manejable para los usuarios. Soporta la programación orientada a objetos y programación imperativa. Python tiene licencia de código abierto, lo que permite la continua creación de contenido y herramientas que facilitan la programación, convirtiéndose en los últimos años en uno de los lenguajes de programación más utilizados.

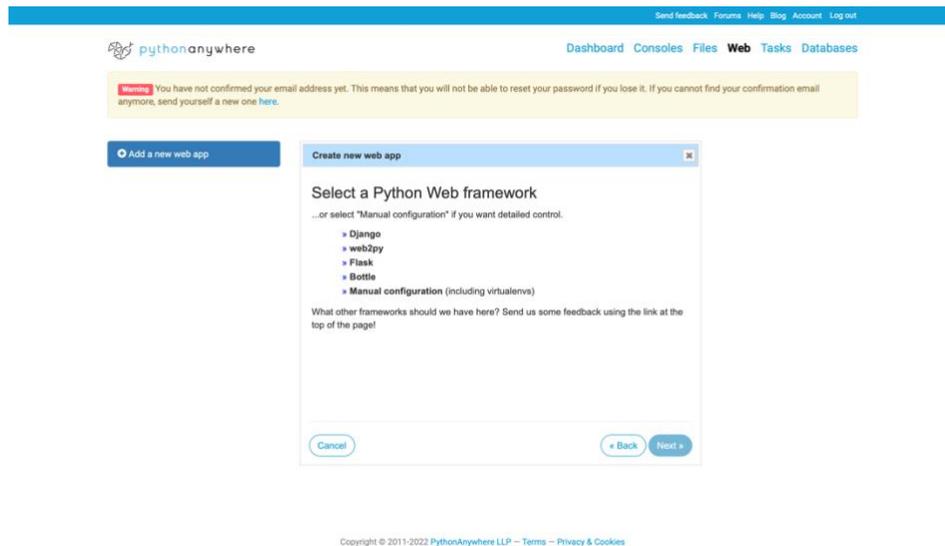
## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

En el presente proyecto es necesaria la integración de la API ofrecida por SigFox para el posterior tratado de los datos medidos en la colmena. Python es el lenguaje adecuado para esta tarea, ya que la cantidad de material disponible hace sencilla la integración con diferentes API's así como el fácil tratamiento de los datos.

Puesto que los servidores de SigFox Back-end, donde son almacenados los datos emitidos en la red, están albergados en la nube es necesaria la integración del sistema de recepción y tratamiento de los datos relativos a la colmena en un servidor web, que permita la conexión a Internet y el acceso a dichos datos.

Para conseguir el acceso a Internet se utilizan los servidores de Pythonanywhere [33]. Este es un *hosting* dedicado a las aplicaciones desarrolladas en Python, el cual permite crear aplicaciones web programadas en este lenguaje, integrando alguno de los *frameworks* o estructuras de proyecto web. También es posible importar un proyecto ya creado, permitiendo la rápida integración gracias a la intuitiva interfaz que ofrece Pythonanywhere.



**Figura 35:** Menú de creación de apps, Pythonanywhere

Se decide realizar la programación en la misma consola que ofrece el hosting en formato web, utilizando Python 3.7. y el framework Flask para crear el servidor (ver Figura 35). Las modificaciones o actualizaciones en el código son realizadas en la consola de programación y su actualización es casi instantánea (ver Figura 36).

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

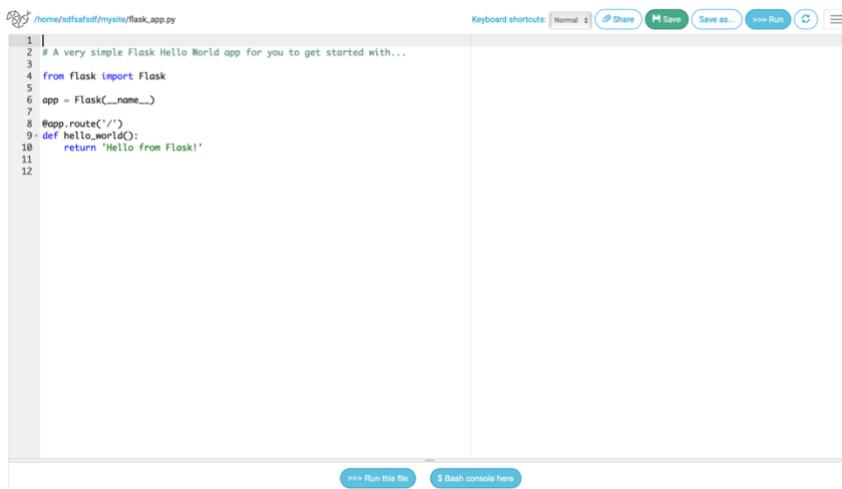


Figura 36: Interfaz de programación Pythonanywhere, archivo flask\_app.py

Con la estructura definida se comienza con la programación, donde se realizará la consulta de solicitudes HTTP provenientes de otros servidores. En el apartado de *Sistema de comunicación* se detalla la adecuación de la solicitud HTTP mediante el método “POST”, donde se envía mediante *url* la información recogida en los sensores de la colmena en un formato *url-encoded*.

```
import os
from flask import Flask, render_template, request
from twilio.rest import Client
from twilio.http.http_client import TwilioHttpClient
```

Las librerías del *framework* Flask y la API Twilio son importadas para su posterior utilización. El servidor permanece activo, comprobando cualquier solicitud desde la ruta '/data' y que sea recibida mediante el método 'POST'. Si el servidor recibe esta solicitud, se comprueba que el método sea el indicado, y se procede a leer las variables recibidas en formato *url-encoded*. A su vez, estas variables son almacenadas en un diccionario llamado valores, el cual nos permite almacenar y distribuir los datos medidos a diferentes puntos.

```
@app.route('/data', methods=['POST']) #When HTTP /data request arrives,
with method POST the function prueba() is executed
def prueba():
    peso_minimo = 20 #kg

    if request.method == 'POST': #If the request method is POST, save
measured variables into dictionary
        valores['temp_int']=request.form['key1']
        valores['temp_ext']=request.form['key2']
```

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
valores['lluvia']=request.form['key3']
valores['peso']=request.form['key4']
valores['lat']=request.form['key5']
valores['lon']=request.form['key6']
```

Con las variables almacenadas se realiza la conexión con una API externa llamada Twilio la cual va a ser utilizada para el envío de SMS como alertas al apicultor derivada de una situación anómala en la colmena, en este caso es debido a la bajada de peso brusca, lo que se puede interpretar como un posible robo de colmenas.

```
if int(valores['peso']) <= peso_minimo:

proxy_client = TwilioHttpClient(proxy={'http': os.environ['http_proxy'],
'https': os.environ['https_proxy']}) #Connection of Twilio API to the
proxy server of Pythonanywhere

client = Client("AC6d1fa2cc0bc524314a34f5c832e35e72",
"42abf584e02636a1a4a330fb41465aab", http_client=proxy_client)
#Identificate the client

client.messages.create(to="+34618021914", from_="+19784806358",
body="¡Alerta de robo! El peso de su colmena se ha reducido
drásticamente, por favor compruebe la localización de su colmena. : " +
"https://www.google.com/maps/search/?api=1&query=" + valores['lat'] +
"%2C" + valores['lon']) #Send the message

else:
    pass
```

Se realiza la comprobación anterior cada vez que una solicitud HTTP es recibida. En caso de que la variable peso sea menor a un peso umbral predefinido, se realiza la conexión con la API de envío SMS, la cual envía un mensaje de alerta al apicultor con la ubicación detallada en Google Maps.

A partir de este momento, mientras el peso medido sea inferior al umbral el apicultor recibe aproximadamente cada 10 minutos la ubicación precisa de su colmena, obteniendo un seguimiento continuo. Con estos datos la localización de la colmena es sencilla, permitiendo a su vez actuar a las autoridades en caso de hurto.

En el código fuente anteriormente explicado se crea una redirección a un archivo .html, con los valores medidos en la colmena como parámetros. Con esta redirección se consigue la creación de una web de visualización de los datos medidos, detallados en el apartado de *Interfaz de Usuario*.

```
@app.route('/')
def inicio(): #Render .html page
    return render_template('init.html',datos=valores)
```

### 5.3. Interfaz Usuario

Con el software desarrollado ya es posible adquirir datos directamente de la colmena y redirigirlos a su vez a un servidor web, donde se consigue tratar los datos recibidos para ofrecer al apicultor diferentes opciones de visualización de esta información.

Una vez creada la conexión con la API Twilio, encargada de enviar mensajes SMS de aviso por robo en la colmena, se propone la creación de una interfaz gráfica aprovechando el potencial de los servidores de Pythonanywhere y la creación de un servidor con Flask.

Para la creación de la interfaz se crea un documento *HTML* donde se programa la parte visual de la aplicación y donde son recibidos los datos de la colmena para posteriormente ser visualizados por el apicultor.

La programación del aspecto final de la interfaz, como es los colores de la página, el espaciado entre elementos y demás detalles gráficos son escritos en lenguaje CSS (Cascading Style Sheets), lenguaje complementario a *HTML*.

```
<head>

  <title>INICIO</title>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/static/css/bootstrap.min.css">
  <script type="text/javascript" src="/static/js/bootstrap.min.js"></script>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/static/css/dashboard.css">
</head>
```

En la cabecera del archivo *HTML* se realizan las llamadas a los archivos CSS que dan aspecto a la interfaz. Estos archivos están situados en el repositorio de archivos ofrecido por *Pythonanywhere*, donde se hace uso de *Bootstrap*, una biblioteca dedicada al desarrollo de funcionalidades con código CSS, facilitando así la programación de la interfaz gráfica. También se hace una llamada al archivo *dashboard.css*, en el cual se programan aspectos relacionados con la interfaz los cuales son particulares para esta aplicación.

```
body{
  background-color: #a5aaad;
  text-align: center;
}

.tittle{
  background-color: #505050;
  color: white;
  align-items: center;
  text-align: center;
  justify-content: center;
}

.content{
  margin-top: 5rem;
  margin-left: 625px;
  text-align: center;
}
```

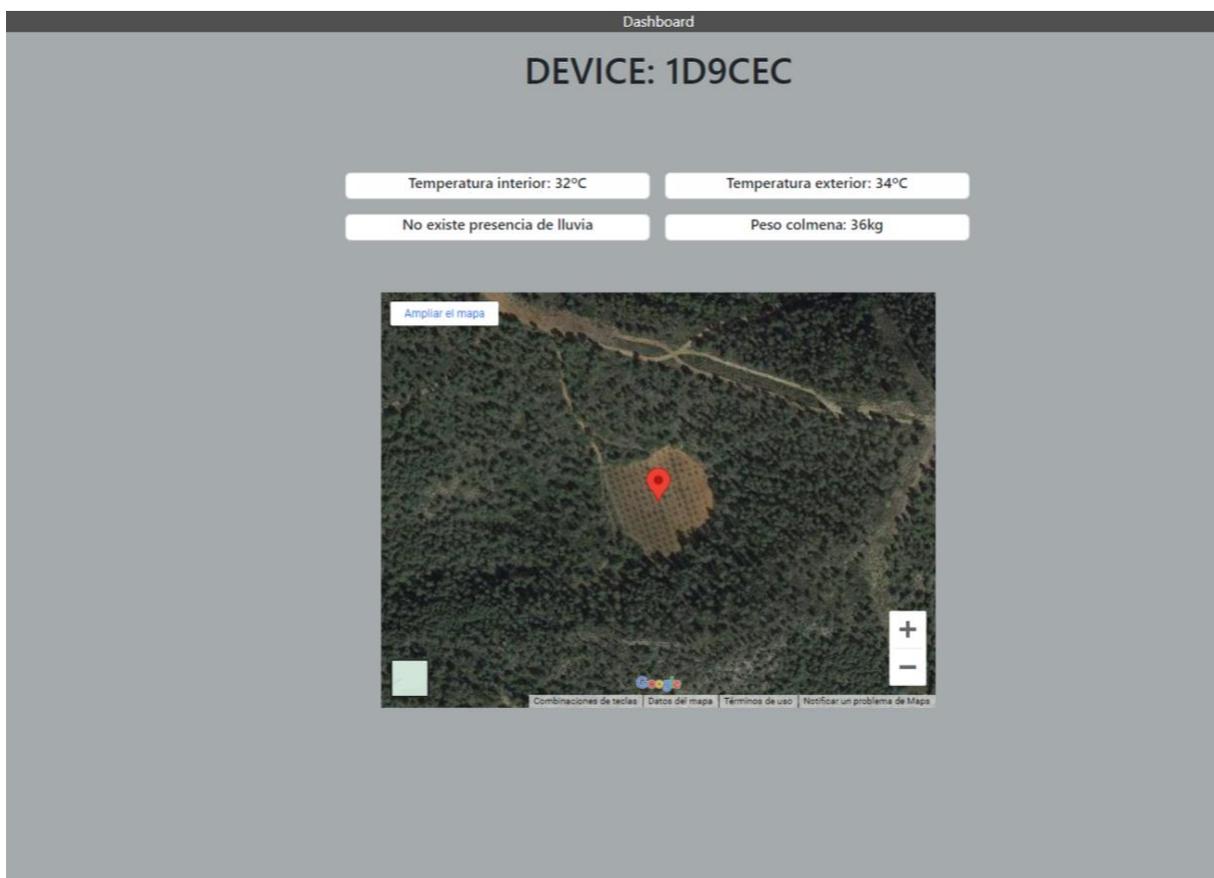
## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Parámetros visuales como la alineación central de los elementos y el texto o el color de fondo son modificados en el código fuente anterior perteneciente al archivo *dashboard.css*.

```
<div class="col-3 card text-center m-2">
<p>Temperatura interior: {{datos['key1']}}°C</p>
</div>
<div class="col-3 card text-center m-2">
<p>Temperatura exterior: {{datos['key2']}}°C</p>
</div>
```

Los datos obtenidos en las mediciones tomadas en la colmena son impresos en la interfaz, mostrando así los datos actualizados al apicultor.



**Figura 37:** Interfaz web del dispositivo de monitorización de colmenas

En la Figura 37 se muestra el resultado obtenido mediante la programación detallada anteriormente. En la interfaz se muestra el número de dispositivo, así como las variables medidas de temperatura, peso y lluvia, además se integra un mapa ofrecido por *Google Maps*, el cual permite visualizar la ubicación medida por el GPS del dispositivo de monitorización.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

#### 5.4. Prueba de funcionamiento

El objetivo práctico del proyecto hace necesario el desarrollo de varias pruebas de concepto y funcionamiento con las que se busca, por un lado, la comprobación del correcto funcionamiento de la arquitectura del sistema. A su vez, en las pruebas de funcionamiento se obtienen conclusiones sobre las mejoras aplicables al sistema, así como una primera aproximación real a la monitorización de las abejas.

Para la aplicación práctica del proyecto se realiza en primer lugar una prueba de concepto, donde se busca conocer el comportamiento del sistema respecto a la comunicación SigFox y su cobertura, así como el funcionamiento del hardware.



**Figura 39:** Componentes sistema de monitorización ubicados en el interior de una colmena



**Figura 38:** Mensaje de prueba del sistema de monitorización con SigFox, formato e-mail

En la Figura 39 se observa la colocación de parte del hardware del proyecto en el interior de una colmena de abejas vacía. Con este montaje se busca proteger el sistema de las inclemencias meteorológicas, ya que se encuentra expuesto al polvo, agua y agentes externos. La colmena ubicada en una ubicación montañosa integra la placa Arduino MKR FOX 1200 junto a dos sensores de temperatura y humedad. La Figura 38 muestra un mensaje enviado por SigFox Back-end con la previa configuración del *CALLBACK* asociado.

Se realizan mediciones durante varios días en la misma ubicación y configuración. Los resultados obtenidos muestran la respuesta satisfactoria por parte del sistema de comunicación SigFox, el cual envía los mensajes a los servidores sin mayor complicación, contando con buena cobertura en una zona montañosa de difícil acceso y baja señal de cobertura móvil.

Es destacable la variación no lineal de la humedad relativa medida por los sensores, la cual lleva a prescindir de esta medición durante el desarrollo del proyecto.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Con el diseño de los soportes y carcasa para el dispositivo de monitorización para colmenas ya preparados se envían a imprimir las piezas plásticas. Con una impresora 3D se obtienen los siguientes resultados de un primer diseño y prototipo (ver Figura 40 y 41), el que sirve como protección para el sistema desarrollado.



**Figura 41:** Carcasa principal, impresión 3D



**Figura 40:** Soporte celda solar y sensor de lluvia, impresión 3D

El soporte de la figura derecha es el encargado de alojar la celda solar y el sensor de lluvia. Para la colocación en la tapa metálica de la colmena se decide colocar imanes de neodimio a la pieza, para facilitar las tareas de supervisión de las abejas al apicultor.

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



**Figura 42:** Carcasa principal y tapa junto a los componentes electrónicos ensamblados

Seguidamente se integran los componentes electrónicos en la carcasa principal y se realiza el conexionado mediante cableado (ver Figura 42). Antes de cerrar la carcasa se programa el microcontrolador, con la finalidad de probar el funcionamiento del sistema completo en un entorno real, siendo esta una prueba de funcionamiento que engloba el conjunto del proyecto.

Con la ayuda de un apicultor local se realiza una prueba de funcionamiento en un colmenar próximo a la localidad. Para ello se utiliza una colmena tipo Layens como base para colocar el dispositivo de monitorización.

La fabricación del soporte utilizado en el sistema de pesaje el cual integra la celda de carga es construido en madera reutilizada. Esto es debido a que se trata de una prueba de funcionamiento de un primer prototipo, donde se busca minimizar costes.



**Figura 43:** Carcasa principal completa, colocación en colmena Layens

Se procede al montaje de la báscula en una superficie preparada con anterioridad para evitar errores en la medida (ver Figura 43). Con el dispositivo de monitorización colocado en la colmena se sitúa la colmena sobre el peso (ver Figura 44), donde da comienzo el proceso de monitorización.

MEMORIA  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino



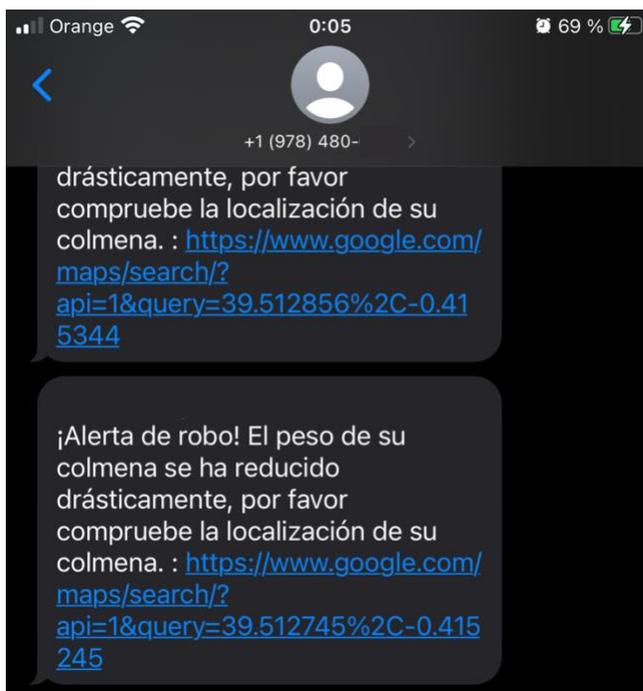
**Figura 44:** Dispositivo de monitorización integrado en una colmena

La ubicación de la colmena dispone de conectividad con la red SigFox, por lo que con el sistema activado los envíos periódicos cada 10 minutos aproximadamente son recibidos en la plataforma SigFox Back-end y redirigidos al servidor de Pythonanywhere, donde son tratados los datos.

Finalmente, se lleva a cabo una prueba de funcionamiento del sistema de alarma. Situando la colmena fuera de la superficie del sistema de pesaje, el módulo SigFox integrado en la placa realiza un envío de información a los servidores. El código alojado en el servidor web ejecuta la conexión con la API SMS Twilio, la cual envía al apicultor, en este caso al responsable de la prueba, un mensaje de texto donde aparece un enlace a Google Maps con la ubicación de la colmena y un aviso de robo en esta (ver Figura 45).

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino



*Figura 45: Mensaje SMS de alerta por robo*

## 6. Futuros trabajos

La investigación y desarrollo de un nuevo producto cuyo objetivo final es su comercialización supone un trabajo de continua mejora. Los errores surgidos durante el diseño del sistema y las posibles mejoras introducidas deben ser probadas con los prototipos creados.

El dispositivo de monitorización para colmenas engloba un proyecto mayor, donde se consigue comercializar un sistema de monitorización probado con diferentes prototipos en evolución y disponiendo de mayores recursos económicos y técnicos.

En el presente proyecto se lleva a cabo el diseño y desarrollo de un primer prototipo para la monitorización de las abejas. Este análisis y primera toma de contacto con el tema desarrollado ha permitido obtener una visión más clara de las virtudes y carencias que presenta el prototipo inicial.

Entre las posibles mejoras aplicables a futuras versiones del dispositivo de monitorización se encuentra el diseño de una placa de circuito impreso propia, donde se buscaría la integración completa del microcontrolador junto al módulo transmisor SigFox y la sustitución parcial de los módulos de sensores por su integración directa en la placa, como el GPS o el circuito de conversión para el sistema de pesaje.

Los sensores empleados para el primer prototipo pueden ser evaluados para la implementación en una segunda versión del proyecto, donde se toman decisiones sobre el rendimiento ofrecido y la utilidad que brindan al apicultor los datos medidos, pudiendo

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

añadir nuevos sensores que midan variables distintas a las actuales, como contadores de abejas a la entrada de la piquera, medición de  $CO_2$  o tratamiento de enfermedades con nuevas tecnologías en la apicultura como los ultrasonidos.

El diseño de la carcasa y sus soportes también goza de un margen de mejora considerable, donde se busca la optimización de espacio, recursos y versatilidad para el apicultor, creando un diseño funcional y de fácil desmontaje.

La utilización del dispositivo de monitorización para colmenas en entornos al aire libre hace necesaria la implementación de encapsulados impermeables al polvo y al agua para la electrónica y los distintos componentes.

La mejora de la información ofrecida al apicultor es posible mediante la creación de distintas herramientas como un panel de control web completo, donde gracias a la conexión con una base de datos sea posible consultar los registros de fechas anteriores, conociendo en todo momento la evolución de los colmenares.

## 7. Conclusiones

El diseño y desarrollo del sistema creado para el seguimiento y análisis del comportamiento de las colmenas de abejas viene motivado por la relación directa con el sector de la apicultura. La situación crítica en la apicultura y la necesidad de desarrollo de un proyecto en el ámbito de la electrónica ha provocado el desarrollo del presente proyecto.

El ofrecimiento de material utilizado en la apicultura de forma desinteresada por apicultores locales ha facilitado en gran medida el desarrollo del proyecto, consiguiendo completar la totalidad del proyecto integrando el sistema de monitorización en una colmena llena de abejas. Además, el contacto directo con los apicultores ha permitido desde el planteamiento del proyecto el conocimiento de las necesidades actuales de los apicultores y las abejas, así como la posterior valoración por parte de los apicultores sobre las ventajas y posibles mejoras del dispositivo de monitorización para colmenas.

La utilización de un sistema de comunicación relativamente nuevo, cuya cobertura y funcionalidades crecen con el tiempo ha favorecido la adquisición de nuevos conocimientos sobre comunicaciones y el funcionamiento de los sistemas IoT. El diseño de las diferentes piezas, estudio detallado de la electrónica utilizada, su implementación en el dispositivo y su programación es fruto de los diferentes conocimientos obtenidos en el estudio del grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y las prácticas en empresa.

La realización de un proyecto técnico íntegro permite profundizar en los diferentes apartados que lo conforman. Su estructura y metodología es necesaria y útil para el desarrollo de futuros proyectos a realizar en el ámbito laboral.

El dispositivo de monitorización desarrollado sirve como prototipo inicial y base para un desarrollo más profundo, corrigiendo los fallos e introduciendo nuevas mejoras que consigan de este proyecto la creación de un dispositivo de monitorización para colmenas comercial y escalable.

MEMORIA  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## 8. Bibliografía

- [1] GreenPeace, “El declive de las abejas”, 2013. [https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/Agricultura-ecologica/el\\_declive\\_de\\_las\\_abejas.pdf](https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/Agricultura-ecologica/el_declive_de_las_abejas.pdf)
- [2] Wikipedia, “Apicultura”, 2017. <https://es.wikipedia.org/wiki/Apicultura>
- [3] HiveWatch, “Báscula digital”. <https://hivewatch.es>
- [4] 3BEE, “Hive-tech”, <https://www.3bee.com/es/tecnologia/>
- [5] Granja San Francisco, “Los tipos de colmena de abejas”, 2020. <https://www.granjasanfrancisco.com/es/blog/los-tipos-de-colmena-de-abejas/>
- [6] Escuela Politécnica Superior - EPSAlicante, “Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles”, 2018. <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/sistemas-de-telefon-y-comunicaciones-moviles>
- [7] LoRa Alliance, “What is LoRaWAN® Specification”. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- [8] Catsensors, “Tecnología LoRa y LoRaWAN”. <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>
- [9] Wikipedia, “Sigfox”, última modificación: Octubre, 2021. <https://es.wikipedia.org/wiki/Sigfox>
- [10] Carla Martínez; Telcel empresas, “¿Cuál será la función de las redes satelitales para el desarrollo del IoT?”. <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/funcion-de-redes-satelitales-en-iot>
- [11] Texas Instruments, LMx93-N series comparators datasheet, 2018. [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf?ts=1656717701391&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf?ts=1656717701391&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [12] Aosong, AM2302 datasheet, fecha de acceso: Marzo, 2022. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [13] Sensirion, SHT3x-DIS humidity and temperature sensors series datasheet, Febrero 2019. [https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion\\_Humidity\\_Sensors\\_SHT3x\\_Datasheet\\_digital-971521.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital-971521.pdf)
- [14] ARM, NEO-6 u-blox 6 GPS modules datasheet, fecha de acceso: Mayo, 2022. <https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO->

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

[6 DataSheet %28GPS.G6-HW-09005%29.pdf?utm\\_source=en%2Fimages%2Fdownloads%2FProduct\\_Docs%2FN EO-6\\_DataSheet\\_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf](#)

- [15] Adafruit, Adafruit Ultimate GPS datasheet, última modificación: Noviembre, 2021. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ultimate-gps.pdf>
- [16] Wikipedia, "Celda de carga", última modificación: Febrero, 2022. [https://es.wikipedia.org/wiki/Celda\\_de\\_carga](https://es.wikipedia.org/wiki/Celda_de_carga)
- [17] Avia Semiconductor, "24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales" HX711 datasheet. [https://www.mouser.com/datasheet/2/813/hx711\\_english-1022875.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/813/hx711_english-1022875.pdf)
- [18] Arduino, Arduino Micro datasheet, fecha de acceso: Febrero 2022. <https://www.farnell.com/datasheets/1685581.pdf>
- [19] Arduino, Arduino MKR FOX 1200 datasheet, fecha de acceso: Mayo 2022. <https://www.farnell.com/datasheets/2575113.pdf>
- [20] Arduino, Arduino MKR GSM 1400 datasheet, fecha de acceso: Febrero 2022. [https://www.tme.eu/Document/00e2e442e11233ad78ec4808c9124d43/ABX00018\\_MKR%20GSM%201400.pdf](https://www.tme.eu/Document/00e2e442e11233ad78ec4808c9124d43/ABX00018_MKR%20GSM%201400.pdf)
- [21] Pycom, LoPy4 datasheet, fecha de acceso: Febrero 2022. <https://pycom.io/wp-content/uploads/2017/11/lopy4Specsheet17.pdf>
- [22] Jacob Beningo; DigiKey, "How to Select and Use the Right ESP32 Wi-Fi/Bluetooth Module for an Industrial IoT Application", 2020. <https://www.digikey.es/en/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>
- [23] Wikipedia, "Pila alcalina", última modificación: Marzo, 2022. [https://es.wikipedia.org/wiki/Pila\\_alcalina](https://es.wikipedia.org/wiki/Pila_alcalina)
- [24] McGraw Hill España, "Componentes de una instalación solar fotovoltaica", fecha de acceso: Mayo 2022. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [25] Wikipedia, "1-Wire", última modificación: Mayo, 2022. <https://es.wikipedia.org/wiki/1-Wire>
- [26] Philips Semiconductors, "The I<sup>2</sup>C-BUS specification" datasheet, 2000. [https://www.csd.uoc.gr/~hy428/reading/i2c\\_spec.pdf](https://www.csd.uoc.gr/~hy428/reading/i2c_spec.pdf)
- [27] NMEA.org, "NMEA 0183 Interface Standard". [https://www.nmea.org/content/STANDARDS/NMEA\\_0183\\_Standard](https://www.nmea.org/content/STANDARDS/NMEA_0183_Standard)
- [28] Wikipedia, "Colmena Layens", última modificación: Junio, 2020. [https://es.wikipedia.org/wiki/Colmena\\_Layens](https://es.wikipedia.org/wiki/Colmena_Layens)

## MEMORIA

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

- [29] VCC, 4304H Series Solid State LED Lamps T-1 3/4 (5mm) datasheet, 2016.  
<https://www.mouser.com/datasheet/2/423/4304H-1064313.pdf>
- [30] Samsung SDI, Samsung INR21700-50E datasheet. <https://batteryservice.bg/wp-content/uploads/2018/12/INR21700-50E.pdf>
- [31] Wikipedia, "C++", última modificación: Junio, 2022.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>
- [32] Geeksforgeeks, "History of Python", última modificación: Mayo, 2022.  
<https://www.geeksforgeeks.org/history-of-python/>
- [33] Pythonanywhere, "Main page". <https://www.pythonanywhere.com>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

***Diseño y desarrollo de un sistema de  
monitorización de colmenas utilizando  
Arduino***

---

# PLANOS

*Documento nº2*

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

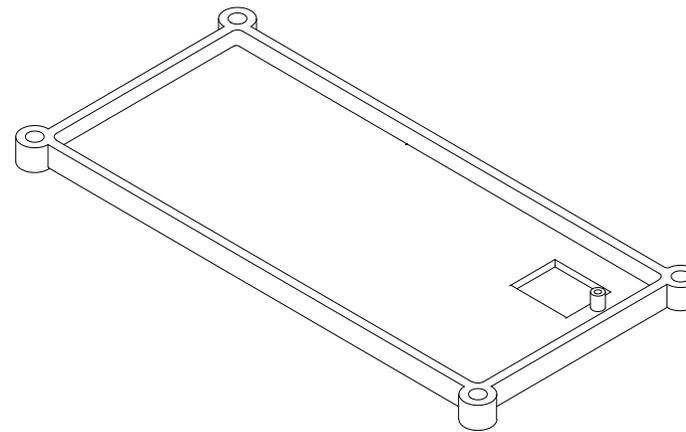
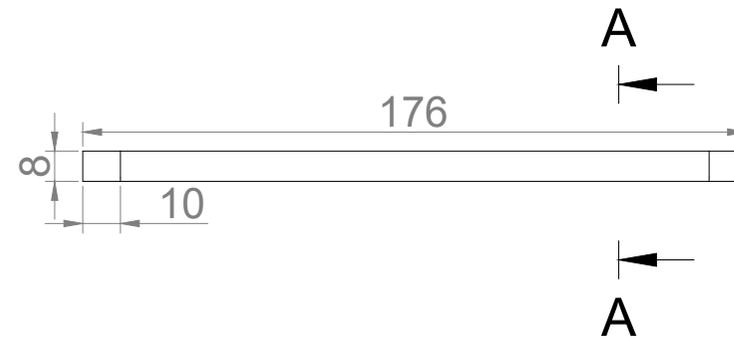
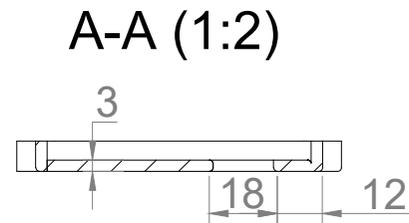
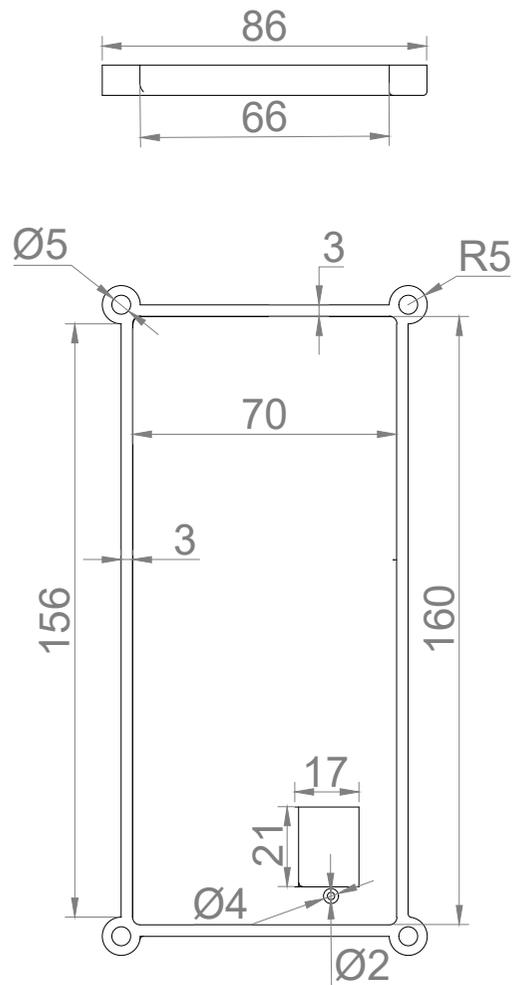
Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

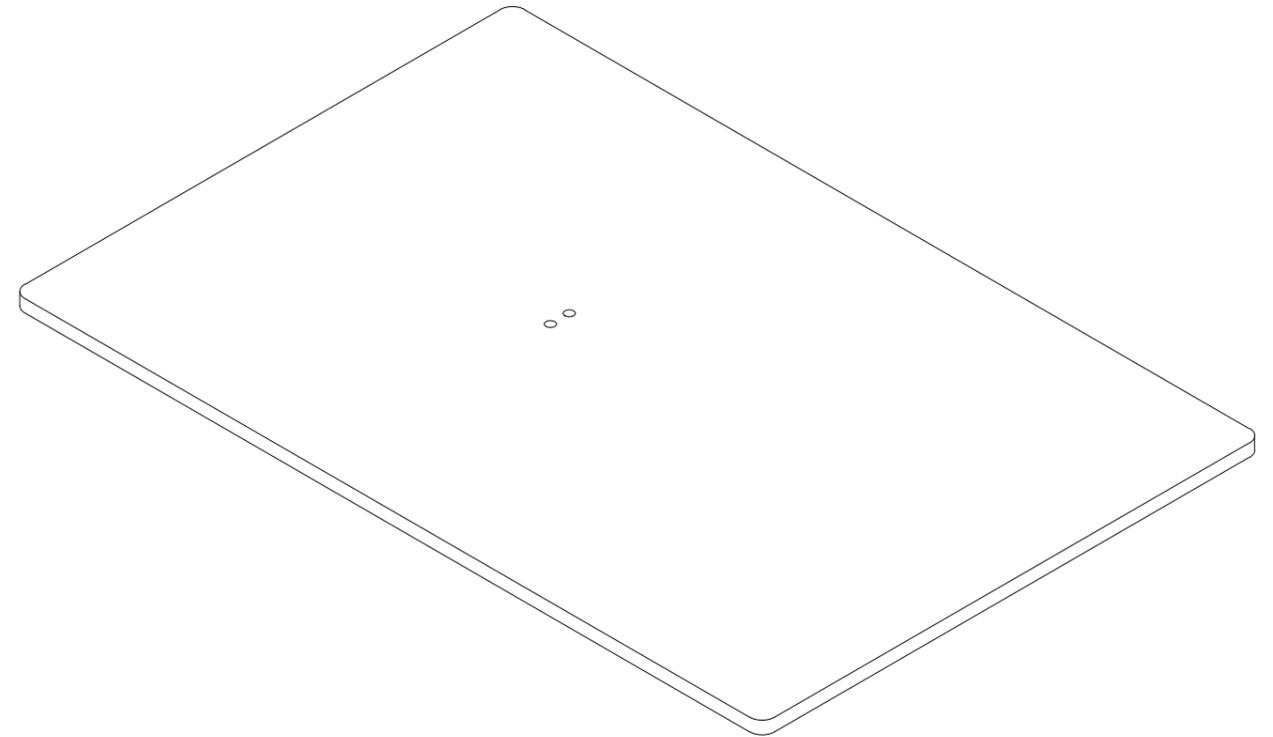
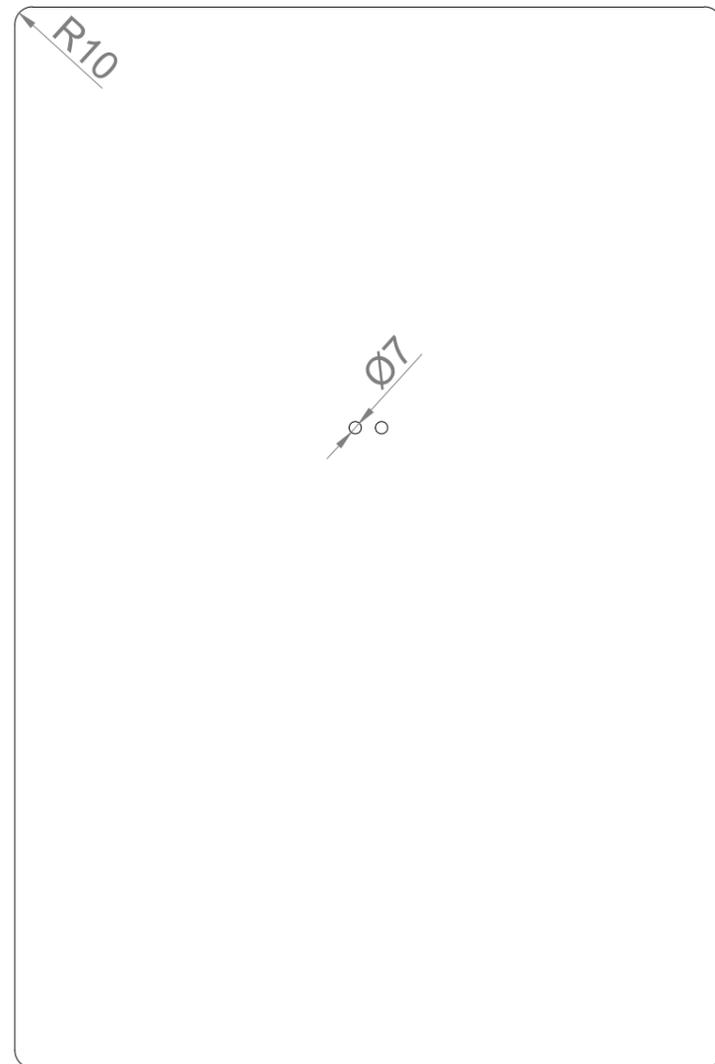
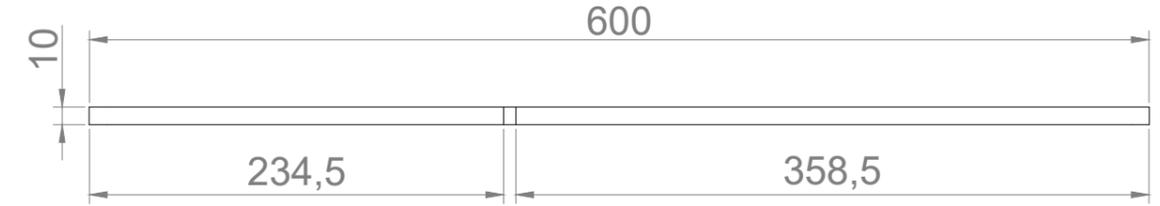
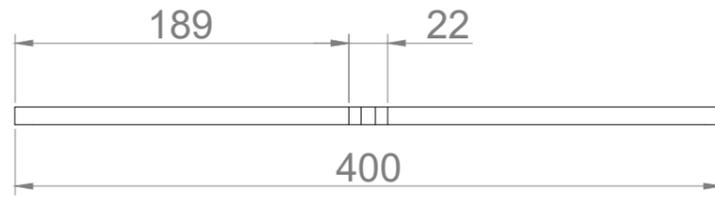
Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**

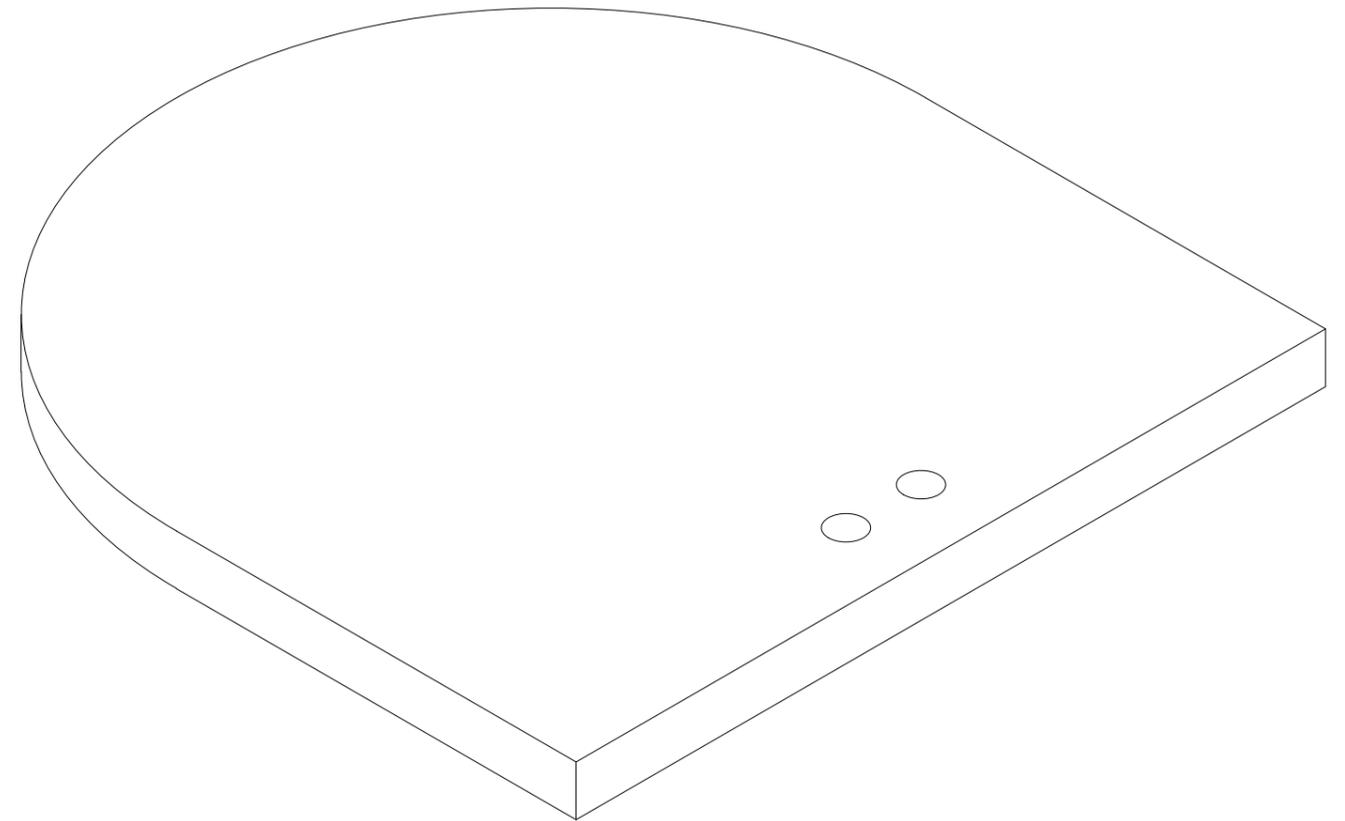
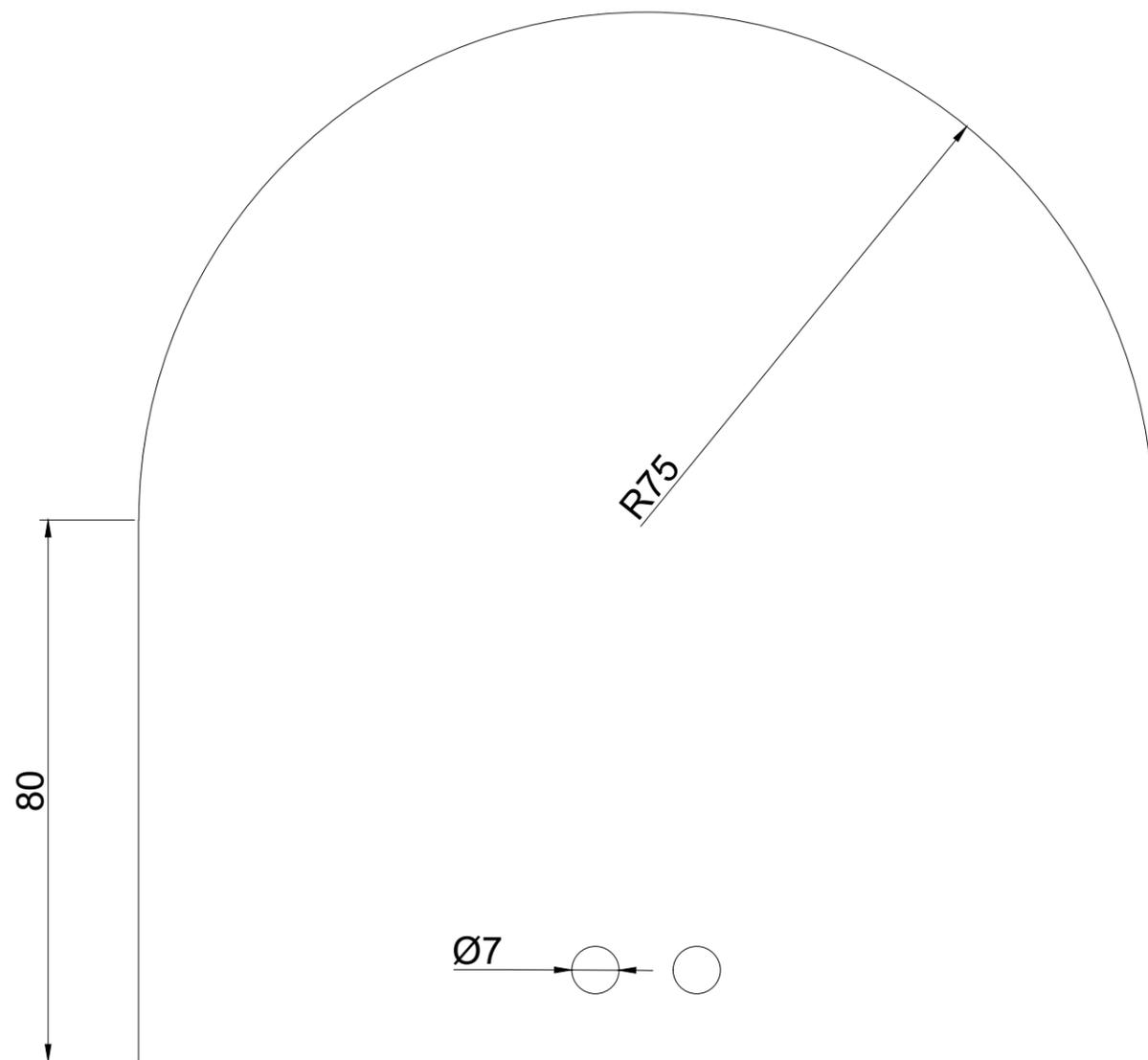
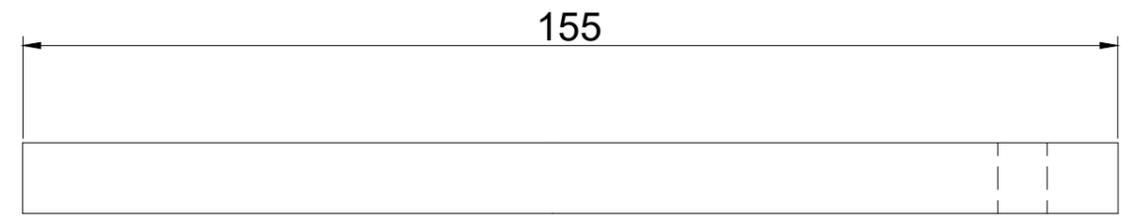
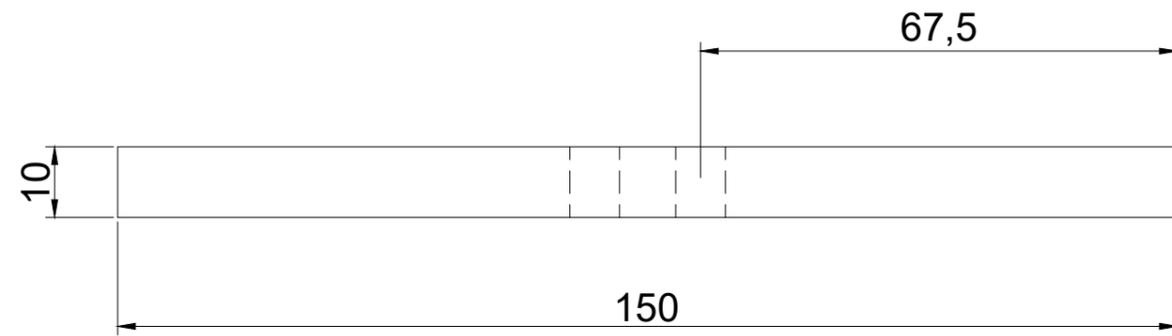




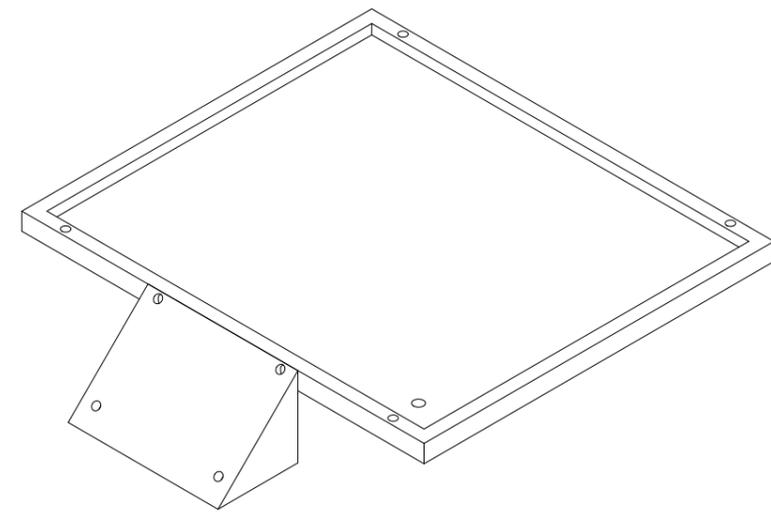
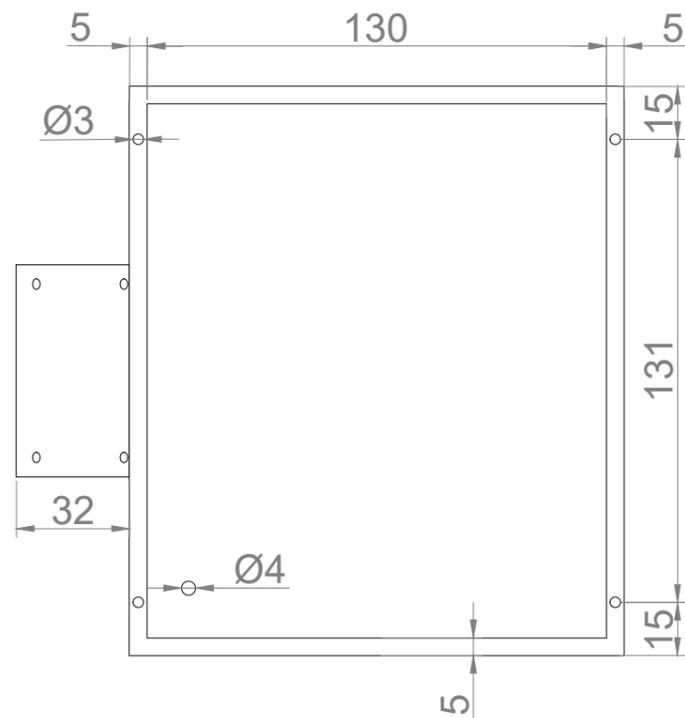
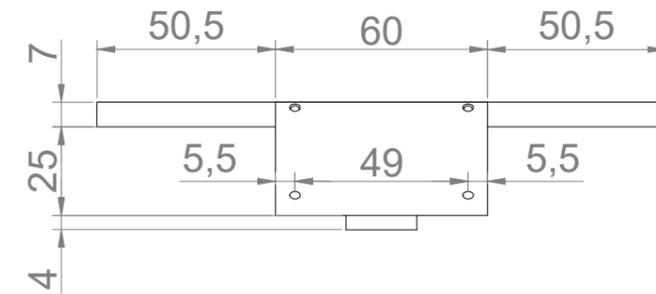
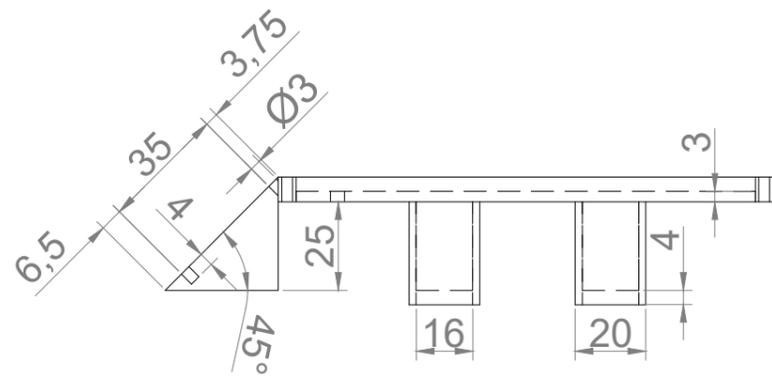
TÍTULO	DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	PLANO N°	02
AUTOR	CARLES BATALLER GARZÓN		
REFERENCIA	CLM-02		
ESCALA	1:2	PLANO	
FECHA	JUNIO 2022	TAPA CARCASA PRINCIPAL	
			 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



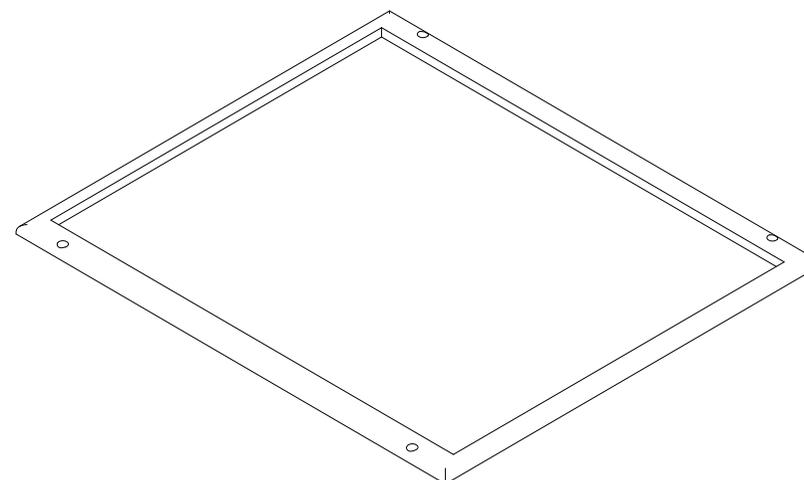
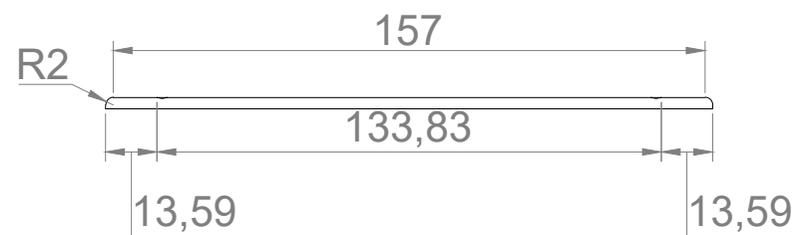
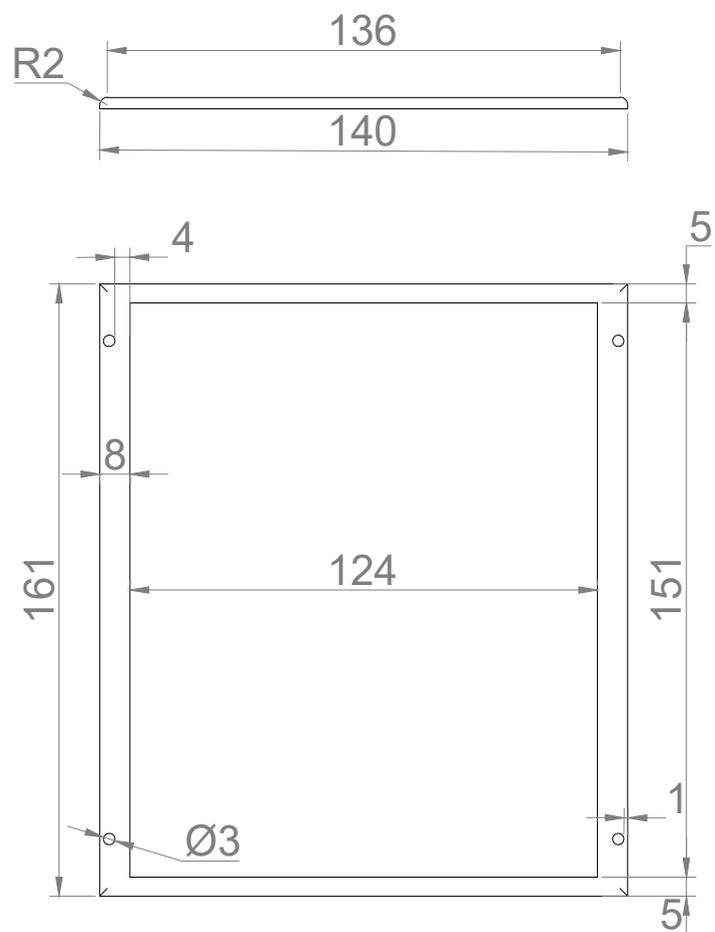
TÍTULO	DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	PLANO Nº	03
AUTOR	CARLES BATALLER GARZÓN		
REFERENCIA	CLM-03		
ESCALA	1:4	PLANO	
FECHA	JUNIO 2022	BASE SOPORTE BÁSCULA	
			 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



TÍTULO	DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	PLANO Nº	04
AUTOR	CARLES BATALLER GARZÓN		
REFERENCIA	CLM-04		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCALA	1:1	PLANO	
FECHA	JUNIO 2022	SUPLEMENTO SOPORTE BÁSCULA	



TÍTULO	DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	PLANO Nº
AUTOR	CARLES BATALLER GARZÓN	05
REFERENCIA	CLM-05	
ESCALA	1:2	
FECHA	JUNIO 2022	
PLANO		
BASE SOPORTE CELDA SOLAR		
		 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



TÍTULO	DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	PLANO N° <b>06</b>
AUTOR	CARLES BATALLER GARZÓN	
REFERENCIA	CLM-06	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCALA	1:2	
FECHA	JUNIO 2022	
PLANO		
TAPA SOPORTE CELDA SOLAR		



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

***Diseño y desarrollo de un sistema de  
monitorización de colmenas utilizando  
Arduino***

---

**PLIEGO DE CONDICIONES**

*Documento nº3*

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**

PLIEGO DE CONDICIONES  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## ÍNDICE

1. OBJETO .....	2
2. CONDICIONES DE LOS MATERIALES .....	2
2.1. <i>Descripción</i> .....	2
2.2. <i>Control de calidad</i> .....	3
3. CONDICIONES DE LA EJECUCIÓN.....	4
3.1. <i>Descripción</i> .....	4
3.2. <i>Control de calidad</i> .....	4
4. PRUEBAS Y AJUSTES FINALES O DE SERVICIO .....	5

PLIEGO DE CONDICIONES  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## 1. Objeto

El objeto de este documento es la definición de las condiciones técnicas que debe cumplir el dispositivo de monitorización para colmenas en su fabricación, montaje y uso. El diseño y desarrollo de este se encuentra descrito en el documento nº1, *Memoria*, así como en el apartado de *Planos* y en los anejos correspondientes.

El ámbito de acción del pliego de condiciones en el presente proyecto engloba los distintos materiales electrónicos y no electrónicos que conforman el dispositivo, así como el software desarrollado para el mismo instrumento.

Seguidamente se pasa a describir con más detalle las condiciones de los materiales y las condiciones de ejecución, describiendo estos y detallando el control de calidad adoptado para la verificación del buen estado de los componentes. Finalmente se detallan las condiciones para la verificación de funcionamiento del dispositivo y las condiciones de uso.

## 2. Condiciones de los materiales

### 2.1. Descripción

El producto desarrollado en el proyecto está formado por distintos materiales descritos en el documento *Memoria*, los cuales son enumerados en este apartado y utilizados en el documento *Presupuesto* para detallar los costes derivados de los mismos y los gastos asociados.

El dispositivo de monitorización para colmenas agrupa los componentes que lo componen en varios módulos distribuidos en la colmena. A su vez cada módulo está formado por componentes electrónicos que forman el sistema monitorización del dispositivo y componentes no electrónicos como los soportes para la electrónica o el sistema de pesaje. El siguiente listado hace referencia a los materiales integrados en el instrumento de monitorización:

- Arduino MKR FOX 1200
- Antena celular 850-1900MHz
- U-blox NEO-6M GPS
- Sensor de lluvia YL-83
- Sensor de temperatura y humedad AM2302(DHT22)
- Celda de carga 60kg WL1243
- Amplificador HX711
- Celda solar 5V 2.5W (130x150mm)
- Cargador/regulador solar DFR0559
- Imán neodimio Ø16 (mm)
- Placa de pruebas, protoboard
- Cable 20AWG (0.51mm<sup>2</sup>)
- Diodo LED 4303H1
- Resistencia 2.2kΩ y 180Ω E24

PLIEGO DE CONDICIONES  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

- Soporte celda Li-ion 21700
- Batería litio-ion Samsung 50E
- Material plástico PLA
- Suplemento de aluminio con mecanizado CNC, espesor 10mm
- Base de aluminio con mecanizado CNC, espesor 10mm
- Tornillo metálico tipo Phillips M4, 30mm
- Tuerca metálica M4
- Tornillo metálico tipo Allen M6, 50mm
- Tornillo metálico tipo Phillips M3, 10mm

La utilización de distintos materiales en el proyecto hace necesario el cumplimiento de los requisitos establecidos por las normativas vigentes que los regulan. Los componentes electrónicos utilizados en el proyecto están sujetos a varias normativas, una de ellas es el Real Decreto 186/2016, compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos y la norma UNE-EN 60115-1:2011, relativa a las especificaciones generales de resistencias para equipos electrónicos. La utilización de baterías de litio en el dispositivo de monitorización hace aplicable el Real Decreto 219/2013, restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

El uso de elementos de fijación metálicos para los soportes y carcasa del dispositivo debe cumplir con la normativa vigente, en este caso UNE-EN ISO 225:2011, elementos de fijación: pernos, tornillos, espárragos y tuercas.

La fabricación de las piezas en impresión 3D con material plástico también está acotado por la normativa vigente relativa a la fabricación aditiva, en este caso la norma UNE-EN ISO/ASTM 52903-1, fabricación aditiva de materiales plásticos basada en extrusión de materiales. Otra norma aplicable a la fabricación aditiva empleada en el proyecto es la norma UNE 116005:2012, fabricación por adición de capas en materiales plásticos.

## 2.2. Control de calidad

Con la visión comercial del producto, el dispositivo de monitorización para colmenas debe cumplir las directivas y reglamentos europeos para obtener así el marcado CE. Este marcado es un símbolo referido a la declaración de responsabilidad por parte del fabricante donde afirma que el producto comercializado ha sido evaluado conforme a los requisitos de seguridad y salud establecidos por las directivas aplicables, cumpliendo favorablemente con estas reglamentaciones.

Las directivas aplicables al dispositivo de monitorización son varias. Directiva *2014/53/UE*, comercialización de equipos radioeléctricos, relativa al transceptor SigFox integrado en la placa de control Arduino, el cual hace uso de las bandas de radiofrecuencia de uso general. La Directiva *2014/30/UE* referente a la compatibilidad electromagnética y la Directiva *2011/65/UE* relativa a la restricción uso de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrodomésticos (ROHS), forman las directivas que afectan al marcado CE del dispositivo de monitorización.

## PLIEGO DE CONDICIONES

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

Para el presente proyecto, cuyo desarrollo en la primera versión del producto no tiene un enfoque comercial no aplicará la evaluación del cumplimiento de las directivas correspondientes al mismo para. La obtención del marcado CE.

Se realiza un control de calidad de los materiales empleados en el proyecto, para ello se lleva a cabo la inspección visual de los componentes electrónicos, donde se visualiza el aspecto general de los circuitos integrados, resistencias y el resto de los elementos.

La batería es comprobada con la inspección visual y una posterior medición del voltaje actual de la batería, comprobando que el voltaje medido está dentro del rango de funcionamiento de una batería de litio.

Finalmente, una vez son inspeccionados visualmente los elementos electrónicos se evalúa su funcionamiento individual mediante la alimentación del circuito y la utilización de un instrumento de medición adecuado a la medida a realizar.

## 3. Condiciones de la ejecución

### 3.1. Descripción

La ejecución del sistema de monitorización se lleva a cabo en varias fases. La primera de ellas es el montaje de los diferentes componentes electrónicos en base al esquema eléctrico mostrado en la *Figura 27* del documento nº1 *Memoria*.

En la segunda fase se realiza la integración del esquema eléctrico ya ensamblado junto con los soportes impresos en 3D y componentes que forman el conjunto del sistema de monitorización para colmenas. Con el dispositivo completamente montado se realiza una prueba inicial de verificación, para ello y haciendo uso de un equipo informático con los programas de software detallados en la *Memoria* se completa la instalación del código fuente en el microcontrolador del sistema.

Con el sistema completo se procede a verificar el correcto funcionamiento del dispositivo en un entorno controlado, donde no existan elementos externos que puedan interferir en la evaluación de funcionamiento.

### 3.2. Control de calidad

Para la correcta evaluación de la ejecución del sistema y sus fases se realiza un procedimiento escalonado de verificación del dispositivo de monitorización.

Se realiza el montaje general de los componentes electrónicos del sistema, ejecutado por un técnico especializado, encargado a su vez de comprobar los elementos electrónicos individualmente, anteriormente mencionados.

Durante la segunda fase de integración, el técnico designado para la evaluación del sistema debe comprobar el correcto montaje de los componentes en las piezas fabricadas con

PLIEGO DE CONDICIONES  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

material plástico, ya que parte del sistema puede verse afectado como causa de defectos en las piezas plásticas o una mala colocación de los componentes sobre estas.

Se realiza la verificación de funcionamiento mediante una prueba controlada del sistema, evaluando los valores medidos en los sensores y voltajes de funcionamiento. Los valores obtenidos son contrastados con las hojas de datos por componentes y mediante la información proporcionada en el desarrollo del proyecto.

Con el sistema evaluado en las diferentes fases designadas ya es posible ejecutar la integración del dispositivo en un entorno real como la aplicación en una colmena de abejas situada al aire libre. Esta ejecución supone la finalización completa del proyecto.

#### 4. Pruebas y ajustes finales o de servicio

Una vez integrado y comprobado el correcto funcionamiento del sistema de monitorización para colmenas se evalúa su funcionamiento en una aplicación real como es una colmena, pero con la acción de elementos externos como el sol, lluvia, la cobertura del dispositivo en zonas remotas o la acción de las propias abejas sobre el dispositivo.

Las pruebas del sistema en diferentes condiciones pueden provocar la necesidad de ajuste del dispositivo. Cambios menores como la modificación del código fuente del microcontrolador, sustitución de sensores de medición por otros de características similares, etc. deben ser consultadas previamente al autor del proyecto o en su defecto al responsable legal.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

***Diseño y desarrollo de un sistema de  
monitorización de colmenas utilizando  
Arduino***

---

# **PRESUPUESTO**

*Documento nº4*

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**

**PRESUPUESTO**  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

**ÍNDICE**

1. OBJETO .....	2
2. PRESUPUESTO DE MATERIALES .....	2
3. PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA.....	3
4. PRESUPUESTO TOTAL.....	4

# PRESUPUESTO

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### 1. Objeto

El objeto del presente documento es la muestra del coste total del proyecto de la forma más aproximada posible. En los siguientes apartados se detallan los costes necesarios para la realización del proyecto y su ejecución, dividiendo el presupuesto en dos bloques diferenciados, presupuesto de materiales y presupuesto de mano de obra.

Finalmente se obtiene el presupuesto de la totalidad del proyecto, aplicando los impuestos correspondientes y los honorarios derivados a la realización del proyecto.

### 2. Presupuesto de materiales

En la siguiente tabla aparecen detallados los materiales utilizados en el montaje y desarrollo del dispositivo de monitorización para colmenas. Los diferentes componentes electrónicos y piezas integradas en el dispositivo son detalladas con su nombre, descripción, fabricante y precio, indicando la unidad de producto y el precio total sin IVA dependiendo de la cantidad de material necesaria.

El coste de impresión como la energía eléctrica y filamento plástico utilizado en la impresión de las piezas diseñadas en 3D son incluidos en la lista de materiales.

<b>MATERIALES</b>						
Tipo	Descripción	Fabricante	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Placa electrónica	Arduino MKR FOX 1200	Arduino	ud	27,65 €	1	27,65 €
Antena	Antena Arduino 850-1900MHz	Arduino	ud	3,45 €	1	3,45 €
Módulo GPS	U-blox NEO-6M	ARM	ud	15 €	1	15 €
Sensor de lluvia	Sensor YL-83	Vaisala	ud	3,10 €	1	3,10 €
Celda de carga	Celda de aluminio 60kg WL1243	Lexus Electronic	ud	35 €	1	35 €
Circuito amplificador	Circuito impreso HX711	Adafruit	ud	12,50 €	1	12,50 €
Celda solar	Celda solar 5V 2.5W	ALLPower	ud	12,64 €	1	12,64 €
Sensor de temperatura y humedad	Sensor AM2302 (DHT22)	Asair	ud	3,91 €	3	11,73 €
Regulador Solar	Cargador/regulador solar DFR0559	DFRobot	ud	10,50 €	1	10,50 €
Imán	Imán de neodimio Ø16	Amazon	ud	0,96 €	2	1,92 €
Protoboard	Placa de pruebas (35x55mm)	Mikroe	ud	5,22 €	1	5,22 €
Cableado	Cable 20AWG (0.51)	AlphaWire	m	0,69 €	3	2,07 €
Diodo	Diodo LED 4303H1	VCC	ud	0,21 €	1	0,21 €
Resistencia	Resistencia 180Ω	SRPassives	ud	0,04 €	1	0,04 €
Resistencia	Resistencia 2.2kΩ	SRPassives	ud	0,07 €	2	0,14 €
Soporte batería	Soporte batería Li-ion 21700	BeiLaMoo	ud	1,97 €	1	1,97 €
Batería	Samsung INR21700-50E	Samsung	ud	5,95 €	1	5,95 €
Base báscula	Base de aluminio, espesor 10mm	Lumetal Plastic	ud	86,69 €	2	173,38 €
Suplemento báscula	Suplemento de aluminio, espesor 10mm	Lumetal Plastic	ud	15 €	2	30 €
Tornillo	Tornillo metálico tipo Phillips M4, 30mm	RationalStock	ud	0,08 €	8	0,62 €
Tornillo	Tornillo metálico tipo Phillips M3, 10mm	RationalStock	ud	0,03 €	10	0,26 €
Tornillo	Tornillo metálico tipo Allen M6, 50mm	RationalStock	ud	0,43 €	4	1,70 €
Tuerca	Tuerca metálica M4	RationalStock	ud	0,0024 €	8	0,02 €
Filamento impresora 3D	Filamento impresión 3D PLA 1.75mm	3DFils	kg	13,38 €	0,4	5,35 €
Consumo energético	Coste de impresión 3D		h	0,21 €	12	2,52 €
<b>SUBTOTAL:</b>						<b>362,94 €</b>

**PRESUPUESTO**  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

### 3. Presupuesto de mano de obra

El coste debido a la mano de obra es el más significativo para el presupuesto final ya que al tratarse de un proyecto de investigación y desarrollo el tiempo invertido para la realización de este supone la mayor parte del tiempo e inversión.

Se incluyen en este presupuesto los costes relativos al diseño, redacción y programación de la totalidad del sistema de monitorización para colmenas. Se incluye a su vez el gasto derivado de la preparación del dispositivo para su utilización, como el mecanizado del soporte en aluminio, utilizado en el sistema de pesaje o en el montaje y verificación del sistema.

El precio por hora designado en el presupuesto varía entre 15€/h y 20€/h, correspondientes al sueldo estimado para un técnico y un ingeniero industrial respectivamente. El proceso de mecanizado del aluminio es realizado por un técnico especializado y haciendo uso de la maquinaria adecuada a este fin, quedando excluida de los costes totales del proyecto.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Diseño CAD piezas 3D	h	20 €	35	700 €
Desarrollo y redacción de documentación	h	20 €	150	3.000 €
Programación software	h	20 €	50	1.000 €
Mecanizado aluminio	h	15 €	2	30 €
Ensamblaje de componentes	h	15 €	2	30 €
Prueba de verificación	h	20 €	1	20 €
<b>SUBTOTAL:</b>				<b>4.780 €</b>

## PRESUPUESTO

Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### 4. Presupuesto total

Con los diferentes costes presupuestados se procede a calcular el presupuesto final del proyecto, añadiendo los impuestos correspondientes al IVA y los honorarios presupuestados.

<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	
<b>Presupuesto</b>	<b>Precio</b>
Materiales	362,94 €
Mano de obra	4.780 €
IVA (21%)	1.080,02 €
Honorarios (10%)	514,29 €
<b>TOTAL:</b>	<b>6.737,25 €</b>

El presupuesto final que engloba la totalidad del proyecto es de seis mil setecientos treinta y siete con veinticinco euros.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# ***Diseño y desarrollo de un sistema de monitorización de colmenas utilizando Arduino***

---

## **ANEXO I**

*Documento nº5*

***Autor:***

Carles Bataller Garzón

***Tutorizado por:***

Miguel Ángel Salido Gregorio

***Director experimental:***

Christian Pérez Bernal

**Curso académico: 2021/2022**

ANEXO I  
Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización  
de colmenas utilizando Arduino

## ÍNDICE

1. CALIBRACIÓN SISTEMA DE PESAJE, CÓDIGO ARDUINO .....	2
2. DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN, CÓDIGO ARDUINO.....	2
3. BACKEND INTERFAZ USUARIO, CÓDIGO PYTHON .....	6
4. INTERFAZ GRÁFICA FORMATO WEB, CÓDIGO HTML5 .....	7
5. INTERFAZ GRÁFICA FORMATO WEB, CÓDIGO CSS.....	8

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

### 1. Calibración sistema de pesaje, código Arduino

```
#include "HX711.h" //Include library to interface with A/D converter
#define DOUT A1 //Declaration of clock and data pins
#define CLK A0

HX711 balanza; //Creation of HX711 class object
void setup() {

    Serial.begin(9600);
    balanza.begin(DOUT, CLK); //Pin setting
    Serial.print("Lectura del ADC: ");
    Serial.println(balanza.read()); //Read value measured in the load cell
    Serial.println();
    Serial.println("TARA");
    balanza.tare(20); //Tare method, establish an offset value to level
the balance
    Serial.println("Coloque un peso conocido sobre la balanza:");
    delay(4000);

    double sum = 0;
    for (int i = 0; i<10 ; i++){ //Measurement of load with iteration
        sum += balanza.get_value(10);
        delay(200);
    }
    sum = sum/10; //Total sum is divided by number of iterations
    Serial.println(sum);

    Serial.println("FIN");
}

void loop() {

}
```

### 2. Dispositivo de monitorización, código Arduino

```
#include <SigFox.h>
#include <DHT.h>
#include "HX711.h"
#include <TinyGPS.h>
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
#define DHTPIN22 2 //Definition of data pins for temperature and
humidity sensors
#define DHTTYPE22 DHT22

#define DHTPIN1 3
#define DHTTYPE1 DHT22

#define DHTPIN2 4
#define DHTTYPE2 DHT22

#define DOUT A1 //Definition of analog inputs for HX711 transmission
pins
#define CLK A0

#define PIN_LLUVIA A2 // Definition of analog input for rain sensor

//Digital pins 13 and 14 used for RX-TX transmission with GPS

char GPS_char;
struct gps_coordenadas { //Struct for gps variables
    float a_latitude;
    float a_longitude;
};

DHT dht22(DHTPIN22, DHTTYPE22); //Object creation
DHT dhtexterior1(DHTPIN1, DHTTYPE1);
DHT dhtexterior2(DHTPIN2, DHTTYPE2);
TinyGPS gps;
HX711 balanza;

float latitude, longitude; //Positioning variables
int8_t temperatura_exterior, temperatura_interior; //Measured variables
declaration
uint8_t peso, lluvia;
String pos; //Position, latitude - longitude

void setup() {

    Serial.begin(9600); //Open serial port and especificate baud rate
    while (!Serial) {} // wait for serial port to connect
    Serial.println("Serial Connected");

    Serial1.begin(9600); //Open serial port for GPS
    while (!Serial1) {}

    if (!SigFox.begin()) { //Initiate SigFox module
        Serial.println("Error al iniciar el módulo SigFox");
        return;
    }
    SigFox.end(); //Sleep mode for SigFox module
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
delay(100);
SigFox.debug(); //Activation of debug mode

dht22.begin(); //Initialization of dht22 sensors
dhtexterior1.begin();
dhtexterior2.begin();

pinMode(PIN_LLUVIA, INPUT); //Rain sensor pin declaration as analog
input
analogReadResolution(8); //Configure analog input conversor resolution
to 8-bit

balanza.begin(DOUT, CLK);
balanza.set_scale(74316.92); // Prestablished scale for measuring
weight
balanza.tare(20); //Tare setting
}

void loop() {

  getGPS(); //Execute measuring methods
  getLluvia();
  getTemperaturaExterior();
  getTemperaturaInterior();
  getPeso();

  SendSigfox(); //SigFox send data execution
  delay(600000); //Wait 10 minutes until next loop
}

void SendSigfox() {

  SigFox.begin(); //Start SigFox module
  delay(100);
  SigFox.status(); //Clears all pending interrupts
  delay(20);
  SigFox.debug(); //Activation of debug mode
  delay(100);

  SigFox.beginPacket(); //Begins de process of sending a packet of data
  SigFox.write(temperatura_interior); //.write(), sends binary data to
  SigFox back-end
  SigFox.write(temperatura_exterior);
  SigFox.write(lluvia);
  SigFox.write(peso);
  SigFox.print(pos); //.print(), sends characters data to SigFox back-end

  SigFox.endPacket(); //Stop sending process
  delay(20);
  SigFox.end(); //Sleep mode for SigFox module
}
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
String convertGPS(const void* data, uint8_t len) {

    uint8_t* bytes = (uint8_t*)data; //Conversion of data to uint8_t data
    type
    String cadena ;

    for (uint8_t i = len - 1; i < len; --i) {
        cadena.concat(char(bytes[i])); //Save data into a string
    }

    return cadena;
}

void getGPS() {

    while (Serial1.available()) {

        int GPS_char = Serial1.read(); //Read serial output

        if (gps.encode(GPS_char)) {
            gps.f_get_position(&latitude, &longitude); //Get variables value
            relative to latitude and longitude
            gps_coordenadas coordenadas = {longitude, latitude};

            pos = convertGPS(&coordenadas, sizeof(gps_coordenadas));
            //Conversion of data, store into a string
        }
    }
}

void getLluvia(){

    float analogValue = analogRead(PIN_LLUVIA); //Get analog pin measure
    lluvia = (uint8_t)analogValue;

}

void getTemperaturaExterior(){

    // Read temperature as Celsius
    float t1 = dhtexterior1.readTemperature();
    float t2 = dhtexterior2.readTemperature();

    float t = (t1 + t2) / 2.0; //Average value between the two measures
    temperatura_exterior=(int8_t)t;
    delay(250);
}

void getTemperaturaInterior(){
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
float t22 = dht22.readTemperature(); //Read temperature in celsius
temperatura_interior=(int8_t)t22; // Store temperature value in a
variable type int8_t
delay(250);

}

void getPeso(){

    peso = (uint8_t)balanza.get_units(20),0; //Get weight of the beehive,
with iteration of 20 measures
    delay(250);

}
```

### 3. Backend interfaz usuario, código Python

```
import os
from flask import Flask, render_template, url_for, request
import requests
from twilio.rest import Client
from twilio.http.http_client import TwilioHttpClient

app = Flask(__name__)

valores={
    "key1": "0",
    "key2": "0",
    "key3": "0",
    "key4": "0",
    "key5": "0",
    "key6": "0"
}

@app.route('/')
def inicio():
    return render_template('init.html', datos=valores)

@app.route('/data', methods=['POST'])
def prueba():
    peso_minimo = 0;

    if request.method == 'POST':
        valores['key1']=request.form['key1']
        valores['key2']=request.form['key2']
        valores['key3']=request.form['key3']
        valores['key4']=request.form['key4']
        valores['key5']=request.form['key5']
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
valores['key6']=request.form['key6']

    if int(valores['key4']) <= peso_minimo:
        proxy_client = TwilioHttpClient(proxy={'http': os.environ['http_proxy'], 'https': os.environ['https_proxy']})

        client = Client("AC6d1fa2cc0bc524314a34f5c832e35e72",
"42abf584e02636a1a4a330fb41465aab", http_client=proxy_client)

        client.messages.create(to="+34618021914", from_="+1978
4806358", body="¡Alerta de robo! El peso de su colmena se ha
reducido drásticamente, por favor compruebe la localización de su
colmena. :
" + "https://www.google.com/maps/search/?api=1&query=" +
valores['key5'] + "%2C" + valores['key6'])
    else:
        pass

    return

if __name__ == '__main__':
    app.run()
```

## 4. Interfaz gráfica formato web, código HTML5

```
<!DOCTYPE HTML>

<head>

    <title>INICIO</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/static/css/bootstrap
.min.css">
    <script type="text/javascript" src="/static/js/bootstrap.min.js">
</script>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/static/css/dashboard
.css">
</head>

<body>
    <div class="tittle">

        <p>Dashboard</p>

    </div>
    <h1>DEVICE: 1D9CEC</h1>
    <div class="content">
```

# ANEXO I

## Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
<div class="row ml-2 mr-2">

<div class="col-3 card text-center m-2">
<h6>Temperatura interior: {{valores['key1']}}°C</h6>
</div>
<div class="col-3 card text-center m-2">
<h6>Temperatura exterior: {{valores['key2']}}°C</h6>
</div>

</div>
<div class="row ml-2 mr-2 mb-5">
<div class="col-3 card text-center m-2">
<h6>{{valores['key3']}}</h6>
</div>
<div class="col-3 card text-center m-2">
<h6>Peso colmena: {{valores['key4']}}kg</h6>
</div>
</div>
</div>
<iframe src="https://www.google.com/maps/embed?pb=!1m18!1m12!1m3!1d1687.439242691214!2d{{valores['key5']}}!3d{{valores['key6']}}!2m3!1f0!2f0!3f0!3m2!1i1024!2i768!4f13.1!3m3!1m2!1s0x0%3A0xdef483e996646eaf!2zMznCsDA1JzI5LjAiTiAwwrA1MScwMi4zIlc!5e1!3m2!1ses!2ses!4v1656362224130!5m2!1ses!2ses" width="600" height="450" style="border:0;" allowfullscreen="" loading="lazy" referrerpolicy="no-referrer-when-downgrade"></iframe>
</body>
</html>
```

## 5. Interfaz gráfica formato web, código CSS

```
body{
  background-color: #a5aaad;
  text-align: center;
}

.tittle{
  background-color: #505050;
  color: white;
  align-items: center;
  text-align: center;
  justify-content: center;
}
```

## ANEXO I

### Diseño y desarrollo de un dispositivo de monitorización de colmenas utilizando Arduino

```
.content{  
  margin-top: 5rem;  
  margin-left: 625px;  
  text-align: center;  
}
```