

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema de monitoreo mecatrónico para la determinación de
tiempos de cosecha de la miel en tiempo real

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

José Leonardo Ortiz Molina
Gustavo Alberto Sabando Saritama

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

José Leonardo Ortiz Molina

Dedicado a mi familia que es mi motor para todo lo que hago, a mis amigos que me han brindado experiencias para formar el tipo de persona que soy y a Abby que me ha acompañado en tantas madrugadas trabajando.

Gustavo Alberto Sabando Saritama

Dedicado a mi familia que siempre estuvo presente apoyándome en cada logro de vida, a mis amigos quienes me levantaron en los momentos difíciles y mis mentores que siempre estuvieron para esclarecer mi camino.

AGRADECIMIENTOS

José Leonardo Ortiz Molina

Agradezco a las personas que he conocido en este trayecto que me han brindado ayuda y conocimiento, a la ESPOL que me ha permitido conocer cosas que me apasionan y a todos los profesores que han aportado para mi desarrollo como profesional.

Gustavo Alberto Sabando Saritama

Agradezco a cada persona que he conocido a lo largo de mi formación personal y profesional, sin ellos no hubiese llegado hasta este punto, eternamente agradecido.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; José Leonardo Ortiz Molina y Gustavo Alberto Sabando Saritama damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



José Leonardo Ortiz Molina



Gustavo Alberto Sabando Saritama

EVALUADORES

.....
Efraín Terán Calle M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Adriana Collaguazo Jaramillo M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Gracias a la apicultura moderna se produce miel a grandes escalas, pero, a pesar de tener en el Ecuador un excelente ecosistema, no se puede producir miel de calidad. Esto es debido a la falta de monitoreo de las colmenas en los tiempos de recolección. Es por esto por lo que se busca desarrollar un sistema mecatrónico que permita medir factores dentro de las colmenas como el peso, la humedad y la temperatura. Estableciendo como referencia el modelo de Farrar para predecir la cantidad de miel máxima basado en el peso se mostrarán los datos usando una aplicación móvil ayudando al apicultor a conocer el estado de su colmena y producción de miel de manera remota.

El diseño se realizó basado en la geometría de una colmena Langstroth y consta de cuatro celdas de carga de 50kg, un sensor DHT22 y un módulo HX711. Se procesa y se envía la información desde una placa Arduino Nano conectado a un módulo Lora SX1272 hacia un *gateway* Lora donde se registra la información a una base de datos en Firebase que está vinculada a una aplicación móvil desarrollada en Flutter.

Se realizó una prueba de concepto en donde se construyó un prototipo del diseño obteniendo una resolución de medición de los sensores de ± 0.01 , conexión exitosa entre el prototipo y la aplicación móvil y mostró en tiempo real los cambios detectados por el dispositivo en la aplicación usando como métrica para el tiempo de cosecha el modelo de Farrar.

Se concluye que el sistema de monitoreo ayuda a dar un mejor seguimiento del estado de las colmenas al poder visualizar la cantidad de miel producida y variables de interés. La inversión para la implementación del sistema se recuperaría en aproximadamente un año.

Palabras Clave: apicultura, sistema de monitoreo, modelo de Farrar, aplicación móvil

ABSTRACT

Thanks to modern beekeeping, honey is produced on a large scale, but despite Ecuador's excellent ecosystem, quality honey cannot be produced. This is due to the lack of monitoring of the hives at harvesting time. Therefore, we are looking to develop a mechatronic system that allows measuring factors within the hives such as weight, humidity, and temperature. Establishing as a reference Farrar's model to predict the maximum amount of honey based on weight, the data will be displayed using a mobile application helping the beekeeper to know the status of his hive and honey production remotely.

The design is based on the geometry of a Langstroth hive and consists of four 50kg load cells, a DHT22 sensor and an HX711 module. The information is processed and sent from an Arduino Nano board connected to a Lora SX1272 module to a Lora gateway where the information is registered to a Firebase database that is linked to a mobile application developed in Flutter.

A proof of concept was performed where a prototype of the design was built obtaining a measurement resolution of the sensors of ± 0.01 , successful connection between the prototype and the mobile application and showed in real time the changes detected by the device in the application using as metric for the harvesting time the Farrar model.

It is concluded that the monitoring system helps to better track the status of the hives by being able to visualize the amount of honey produced and variables of interest. The investment for the implementation of the system would be recovered in approximately one year.

Keywords: *beekeeping, monitoring system, Farrar model, mobile application*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marco teórico.....	5
1.5 Estado del arte	7
CAPÍTULO 2	11
2. Metodología	11
2.1 Alternativas de solución	11
2.1.1 Solución A.....	11
2.1.2 Solución B.....	11
2.1.3 Solución C.....	11
2.2 Diseño de concepto.....	13
2.3 Modelo analítico para el tiempo óptimo de cosecha.....	13
2.4 Modelo de colmena.....	14
2.5 Diseño de solución	20

2.6	Diseño electrónico.....	23
2.6.1	Consumo energético mensual	27
2.6.2	Selección de fuente de poder	28
2.7	Diseño de aplicación	32
CAPÍTULO 3		36
3.	Resultados y análisis.....	36
3.1	Análisis estructural del diseño planteado	36
3.2	Prueba de concepto del diseño mecatrónico	40
3.3	Prueba de conectividad.....	44
3.4	Prueba del aplicativo móvil	46
3.5	Análisis de costo	51
CAPÍTULO 4		53
4.	Conclusiones y recomendaciones	53
4.1	Conclusiones	53
4.2	Recomendaciones.....	54
4.3	Trabajo Futuro	55
BIBLIOGRAFIA		56
APÉNDICES		57

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
WSN	Wireless Sensor Networks
FAO	Food and Agriculture Organization
CCD	Colony Collapse Disorder
PLA	Ácido poli láctico
GSM	Global System for Mobile Communication
PHP	Hypertext Preprocessor
CO2	Dióxido de carbono
WAN	Wide Area Network
AC	Alternating Current / Corriente alterna
DC	Direct Current / Corriente directa
IDE	Integrated Development Environment

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
cm	Centímetro
°C	Grados centígrados
L	Litros
g	Gramos
kg	Kilogramos
MPa	Mega Pascales
N	Newton
V	Voltaje
A	Amperios
Ah	Amperios hora
mAh	miliamperios hora
W	Watts
Wh	Watts hora
mWh	mili Watts hora
Vcc	Voltaje de corriente continua
GND	Ground o tierra

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Infografía del proceso de producción de miel	2
Figura 1.2 Principales productores de miel.....	3
Figura 1.3 Modelo estándar de Colmena Langstroth	4
Figura 1.4 Traje de protección y modelo de colmena	6
Figura 1.5 Diagrama de bloques del sistema	8
Figura 1.6 Implementación del dispositivo.....	8
Figura 1.7 Arquitectura del sistema	9
Figura 1.8 a) Ubicación de sensores b) Fotografía real	10
Figura 2.1 Diseño conceptual de la solución	13
Figura 2.2 Colmena de muestra tomada de la granja experimental ESPOL.....	15
Figura 2.3 Medición con flexómetro del largo de la cámara de cría, Granja Experimental	16
Figura 2.4 Modelado de la cámara de cría y miel encontrados en la granja experimental ESPOL	17
Figura 2.5 Modelado de los marcos para las cámaras de cría y miel encontrados en la granja experimental ESPOL.....	17
Figura 2.6 Caja pequeña para almacenar miel.....	18
Figura 2.7 Lámina de separación.....	18
Figura 2.8 Tapa de colmena.....	19
Figura 2.9 Modelo del prototipo solución para la medición de cantidad y calidad de miel	20
Figura 2.10 Ensamble de las celdas de carga al marco	21
Figura 2.11 Ensamble del sensor DHT22 al marco.....	21
Figura 2.12 Ruta para el paso de cables	22
Figura 2.13 Ensamble de prototipo	23
Figura 2.14 Esquema de conexión	24
Figura 2.15 Sistema electrónico.....	24
Figura 2.16 Esquema relacionado a la conexión entre 4 celdas de carga y el módulo HX711	25
Figura 2.17 Esquema de circuito de procesamiento y envío de datos	26
Figura 2.18 Esquema de conexión del sensor de temperatura-humedad.....	27
Figura 2.19 Esquema relacionado a la fuente de poder	29

Figura 2.20 Página de Splash	33
Figura 2.21 Página de Inicio.....	33
Figura 2.22 Login Google	34
Figura 2.23 Página Home.....	34
Figura 2.24 Monitoreo de variables.....	35
Figura 2.25 Histórico de peso	35
Figura 3.1 Características físicas del material PLA obtenidos por método de testeo ISO 527.....	37
Figura 3.2 Asignación de parámetros previo al análisis de elementos finitos	38
Figura 3.3 Análisis de desplazamiento del modelo en vista inferior	38
Figura 3.4 Distancia entre la superficie del marco y la celda de carga	39
Figura 3.5 Coeficiente de seguridad del modelo obtenido del análisis de elemento finito	39
Figura 3.6 Prototipo del marco de soporte.....	40
Figura 3.7 Riel de contención para cables.....	41
Figura 3.8 Circuito de control y procesamiento de datos	42
Figura 3.9 Prototipo IOBEE ensamblado.....	42
Figura 3.10 Prototipo en funcionamiento	43
Figura 3.11 Lectura de datos del prototipo mediante Serial Scope del IDE Arduino	44
Figura 3.12 Comunicación serial punto a punto virtual	44
Figura 3.13 Simulación Gateway Lora para el envío de datos a la nube	45
Figura 3.14 Registro de base de datos	46
Figura 3.15 Campos de los datos ingresados	47
Figura 3.16 Comienzo de producción	48
Figura 3.17 Etapa intermedia de producción	48
Figura 3.18 Etapa final de producción	49
Figura 3.19 Gráfica de pesos del mes	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión de las alternativas.....	12
Tabla 2.2 Consumo energético de componentes.....	27
Tabla 2.3 Relación de capacidades con las corrientes de descarga en periodos de tiempo determinado de una batería de ácido de plomo	30
Tabla 2.4 Variación del tiempo de descarga de una batería ácido plomo con respecto a su capacidad.....	31
Tabla 3.1 Costos considerados para la propuesta de solución	51
Tabla 3.2 Proyección de ganancia anual.....	52

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La apicultura es el conjunto de técnicas que permiten la crianza de las abejas, esto se realiza con el objetivo de obtener la miel procedente de su trabajo y crecimiento dentro de la colmena. La miel como tal, es uno de los alimentos más antiguos del planeta, estudios señalan que las abejas han albergado la tierra por más de 60 millones de años aproximadamente y es formada gracias al néctar de las flores, las abejas toman ese néctar y la almacenan en sacos dentro de su cuerpo para luego almacenarlos en sus respectivas colmenas [1]. Son muchos los beneficios de la miel por el hecho de ser un edulcorante natural provisto en todo el mundo, este alimento funciona como antioxidante, antiinflamatorio, antiviral, antidiabético e incluso como anticancerígeno por lo que se contempla uno de los productos más completos para la nutrición del ser humano [2] y es gracias a la apicultura que existe la posibilidad de poder consumir este potente alimento.

La apicultura ha permitido el correcto procesamiento de la miel elaborada por las abejas, también conocida como miel bruta, para tener un producto saludable, con estándares nutricionales para la buena alimentación de la población; estos procesos empiezan con la extracción de la miel desde la colmena como puede apreciarse en la Figura 1.1:

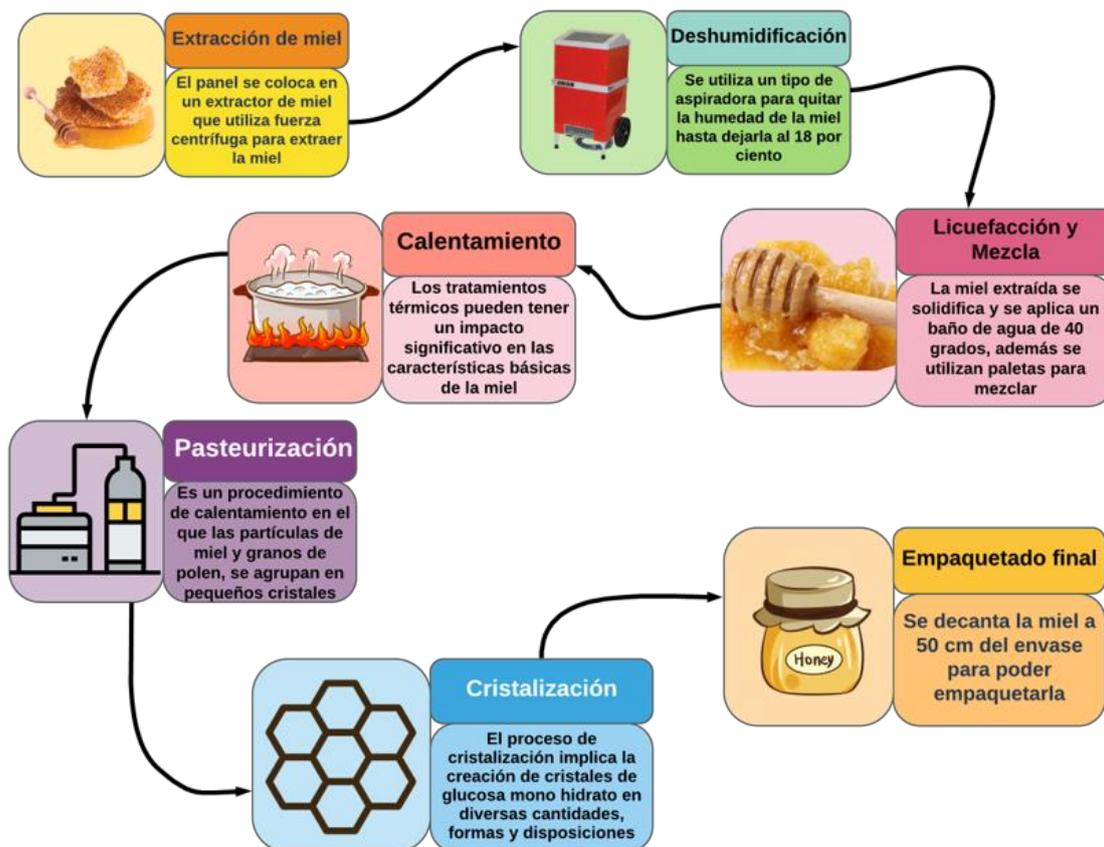


Figura 1.1 Infografía del proceso de producción de miel

Alrededor del mundo, existen países que emplean sus recursos para la tecnificación de los procesos de extracción y refinado de la miel, con el fin; de obtener una mayor cantidad de miel y mejorar su calidad. Entre los países que encabezan la lista de países con mayor contribución en exportaciones a nivel internacional en el 2018 está China, esta potencia logró un aumento en su producción de miel debido al aumento de la demanda dentro de su territorio, por lo cual; fueron forzados a regularizar y tecnificar su industria para mantener un control en su producción y no afectar su calidad [3].

Trasladando esto al contexto ecuatoriano, existe una alta demanda de miel a nivel nacional, aunque existen miles de apicultores minoristas que poseen sus propios apiarios de manera tradicional, no cuentan con mecanismos que les permitan evaluar la calidad de la miel extraída ni mucho menos determinar los tiempos óptimos de cosecha por la falta de estudios realizados en el campo de la

apicultura o la falta de información bibliográfica. La falta de tecnificación en el campo de la apicultura ha generado diversas dificultades en su crecimiento y desarrollo, la falta de sistemas de control de calidad, la poca información de datos relevantes con respecto a la producción por temporadas y la seguridad son tópicos que no se han profundizado en este campo y traen problemas a los apicultores que desean incursionar dentro de este medio.

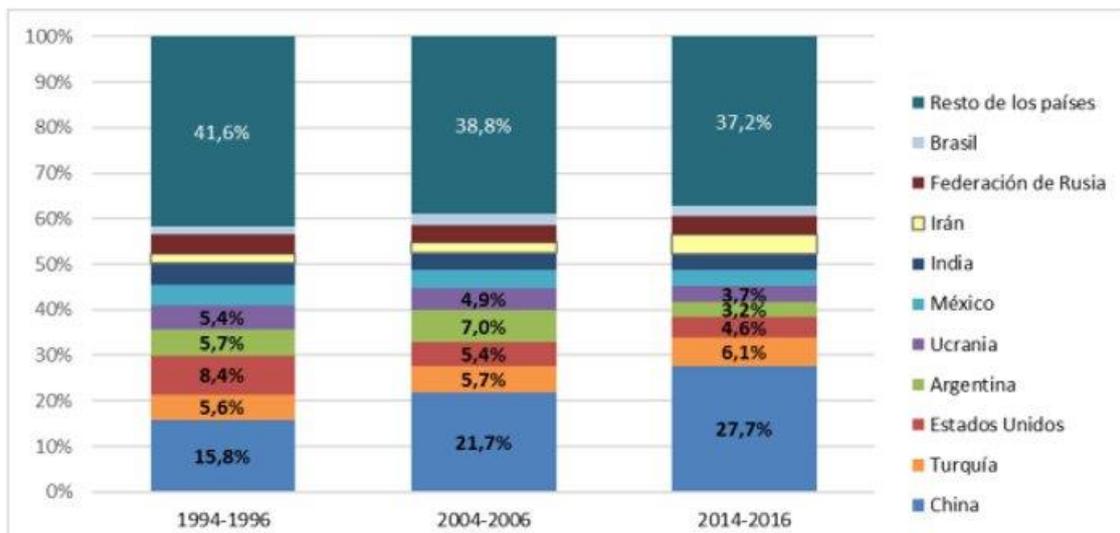


Figura 1.2 Principales productores de miel [3]

1.2 Justificación

Los sistemas de monitoreo han brindado un sin número beneficios a diversas industrias rurales como la agricultura, la pesca y la ganadería debido a su versatilidad gracias a la alta variedad de componentes electrónicos utilizados para censar aspectos físicos del ambiente como sensores de temperatura, de presión atmosférica, calidad del aire, etc. Cada año que pasa dichos componentes se vuelven más rápidos, precisos y baratos, por lo que, su capacidad de implementación en el campo de la apicultura sería un acierto para el futuro desarrollo de la tecnificación en esta área.

Basado en información recolectada de la asociación de apicultores del Ecuador la mayoría de los apiarios utilizados dentro del territorio son modelo Langstroth [4] y las tres variables más relevantes dentro de un apiario son:

temperatura, peso y humedad; puesto que, la temperatura debe rondar alrededor de los 35°C para que la miel no pierda humedad y nutrientes, el peso varía dependiendo de la cantidad de miel almacenada en el apiario, y la humedad debe ser mayor al 17% para que mantenga su calidad. Para solucionar el problema se busca diseñar un sistema de monitoreo capaz de leer dichas variables en tiempo real durante todo el periodo de recolección aproximado de 5 a 6 meses, establecer un modelo que permita identificar el momento adecuado de recolección basado en el peso y la humedad del apiario, diseñar un algoritmo que identifique diversos eventos externos, enviar y procesar cada dato para enviarlo mediante un aplicativo móvil a los apicultores para notificarles de cada acontecimiento dentro de la colmena.

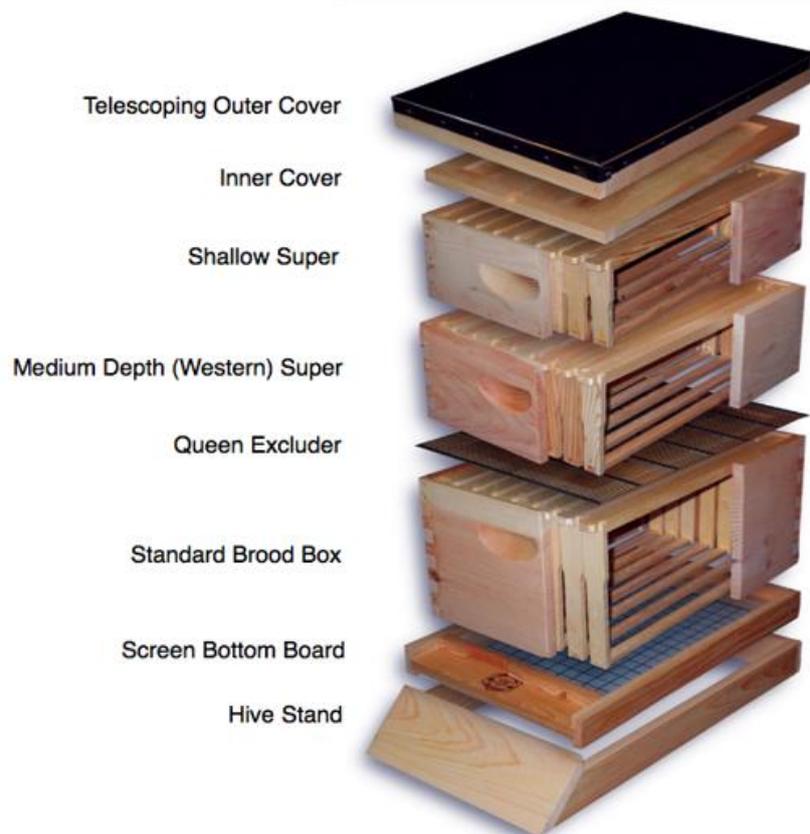


Figura 1.3 Modelo estándar de Colmena Langstroth [5]

A corto plazo, esta solución influirá de manera agradable a los apicultores que recién emprenden en el campo debido a que tendrá la posibilidad de conocer la situación de sus apiarios sin necesidad de estar presente, analizar su crecimiento semanal, optimizar sus viajes de revisión y mejorar su calidad de miel.

A largo plazo, esta solución adquiere mucha más relevancia puesto que dentro de aproximadamente 3 años se habrá adquirido una base de datos bastante consistente, por lo que dichos datos pueden ser usados para diseñar modelos predictivos con el fin de optimizar la calidad y la ganancia de miel tanto para los apicultores de altos volúmenes de producción como los emprendedores iniciales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de monitoreo mecatrónico que notifique el progreso de producción de miel en las colmenas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Modelar el esquema mecánico de un sistema de monitoreo que capte variables físicas como peso, temperatura y humedad dirigido a las colmenas.
- Establecer un sistema basado en el peso que permita mostrar la cantidad procesada de la miel.
- Programar un aplicativo móvil avanzado que permita la comunicación entre el sistema de monitoreo y el usuario.

1.4 Marco teórico

Los insectos polinizadores son vitales para los ecosistemas terrestres, así como para muchas operaciones agrícolas. Aseguran que se mantengan ciertos procesos ambientales, como la reproducción vegetal. Debido a su capacidad para transportar y almacenar polen de manera eficiente, las abejas son los insectos polinizadores más especializados. Las abejas son tan cruciales no solo para la producción de miel, sino también para el equilibrio ambiental, ya que son necesarias para la polinización de las flores de muchos cultivos. [6]

Como resultado, el monitoreo de las colmenas de abejas, recolectar tantos datos como sea posible mientras se minimiza el impacto del manejo en las colmenas, es crítico. Los dispositivos de monitoreo remoto cumplen con los

criterios necesarios para convertirse en una herramienta importante para el monitoreo de colonias de abejas. [7]



Figura 1.4 Traje de protección y modelo de colmena

Las colmenas se pueden monitorear usando una variedad de tecnologías. Al reducir el costo y el tamaño de los sensores, es posible que se implementen más fácilmente en áreas rurales para extraer información y recopilar datos. El monitoreo electrónico remoto de las colmenas tenía una función principalmente científica al principio, permitiendo un monitoreo menos invasivo de los elementos dentro de las colmenas, como la temperatura y la humedad. Actualmente, los apicultores están adaptando estas tecnologías a través de aplicaciones prácticas que pueden brindar información remota para los procesos de toma de decisiones sin tener que examinar las colmenas.

Los sistemas de monitoreo de colmenas de abejas basados en WSN (redes de sensores inalámbricas) se han utilizado en los últimos años. Estos dispositivos ofrecen la ventaja de poder monitorear las condiciones ambientales de la colmena de forma remota sin ser molestos. Kvisis diseñó un sistema con una unidad principal que interactuaba de forma inalámbrica con cada nodo colocado en la colmena mientras también actuaba como puerta de enlace a Internet [7]. Se utilizó

un sensor SHT15 integrado para monitorear la temperatura y la humedad relativa del sistema. Los datos adquiridos fueron transferidos a un servidor de base de datos distante por la unidad principal.

Zacepins describió un sistema de monitoreo de temperatura que usa una Raspberry Pi como puerta de enlace a Internet en 2016 [8]. Una red de un solo cable conecta los sensores de temperatura en las colmenas a la Raspberry Pi. Los autores enfatizaron lo económico que sería el sistema si todas las colmenas estuvieran controladas por una sola Raspberry Pi. [8]

1.5 Estado del arte

Actualmente no existe evidencia de algún prototipo que realice algún monitoreo a distancia de colmenas en el país. Por este motivo se investigaron alternativas que se han realizado en otros países para realizar comparaciones.

La primera alternativa se obtuvo del reporte "*Low cost platform for monitoring honey production and bees health*" del país de Rumania. En este reporte se buscó analizar las variables del hábitat de las abejas para poder prevenir enfermedades que podrían disminuir la población como es la *Colony Collapse Disorder* (CCD). Se presentó el desarrollo de una plataforma de bajo costo que monitorea la producción de miel y la salud de las abejas. Este prototipo analizaría variables como temperatura, humedad, peso y concentración de CO₂. [9]

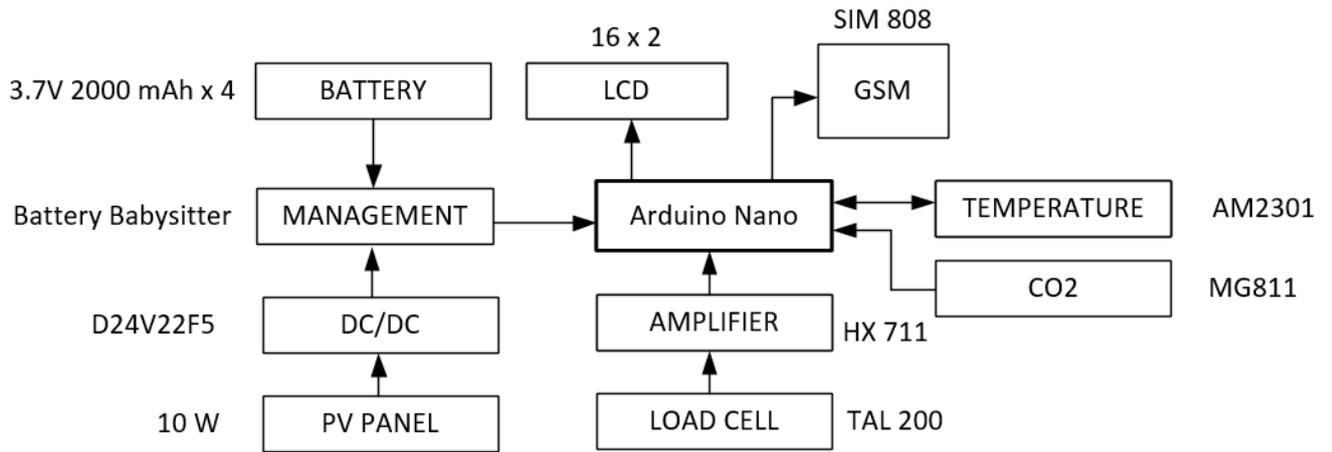


Figura 1.5 Diagrama de bloques del sistema [9]

El prototipo estaría constituido por un Arduino Nano que recolecta los datos de los diferentes sensores. El sensor de peso se compone de una celda de carga modelo TAL 200 ubicada debajo de la colmena. La celda de carga está constituida de 4 galgas de deformación que enviarían una señal de voltaje. Esta información sería enviada por un *shield* GSM de Arduino SIM808 y una tarjeta sim para su respectivo análisis. Para la autonomía del dispositivo se utilizaría un pack de 4 baterías de 3.7V y un panel solar de 10W. [8]



Figura 1.6 Implementación del dispositivo [8]

Otro prototipo de referencia es uno encontrado en el reporte “Honey Bee Colonies Remote Monitoring System” realizado por la Universidad de Córdoba, España. En esta alternativa se le brinda un enfoque similar para monitorear las diferentes variables del entorno de la colmena para verificar la salud de las abejas. Se desarrolló así mismo un prototipo controlado por Arduino que busca mantener los costos bajos. El sistema buscó ser lo menos intrusivo posible y operar a distancia mediante la comunicación de nodos hacia un ordenador que transmite la información a una base de datos. [8]

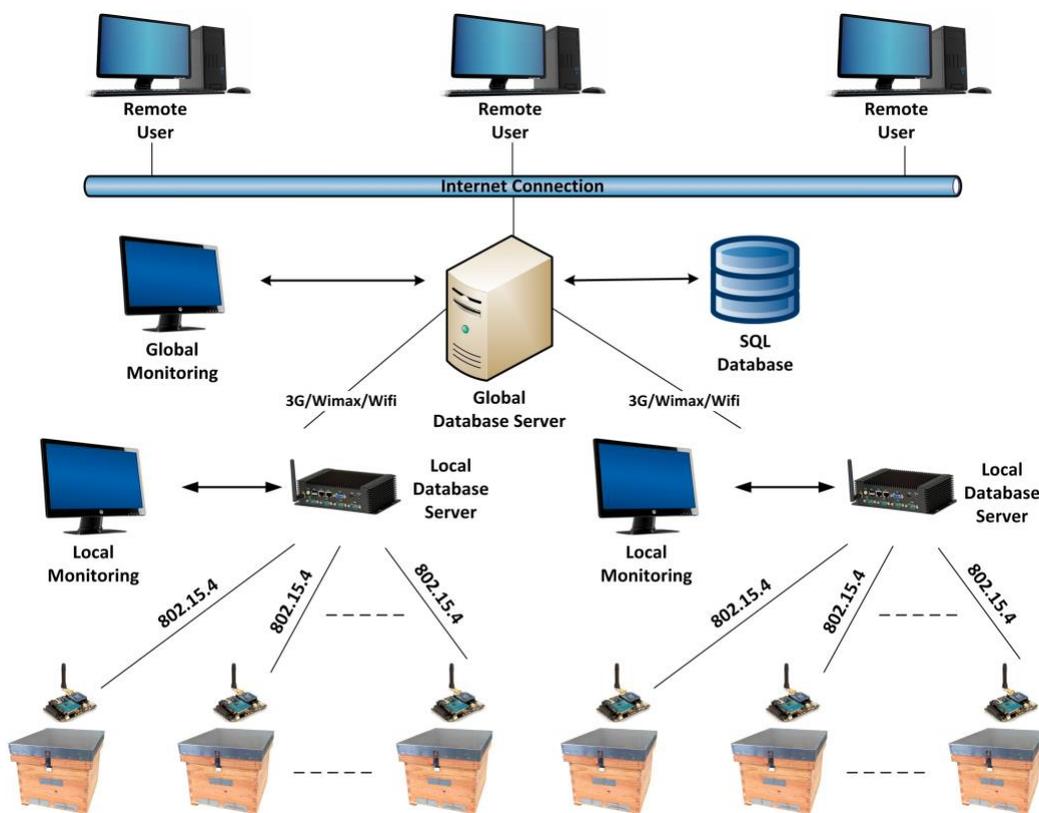


Figura 1.7 Arquitectura del sistema [8]

El prototipo está constituido de tres sensores de temperatura LM35 que serían instalados en diferentes lugares de la colmena, además de dos sensores SHT15 para monitorear la humedad, controlados por un Arduino. La información previamente sería almacenada en una tarjeta microSD dentro de una Raspberry Pi, pero debido a la implementación del nodo no se tenía que realizar más esta tarea manual. El sistema sería energizado por paneles solares y una batería

recargable ya que la transmisión de datos no sería todo el día y no habría mucho consumo energético. [8]

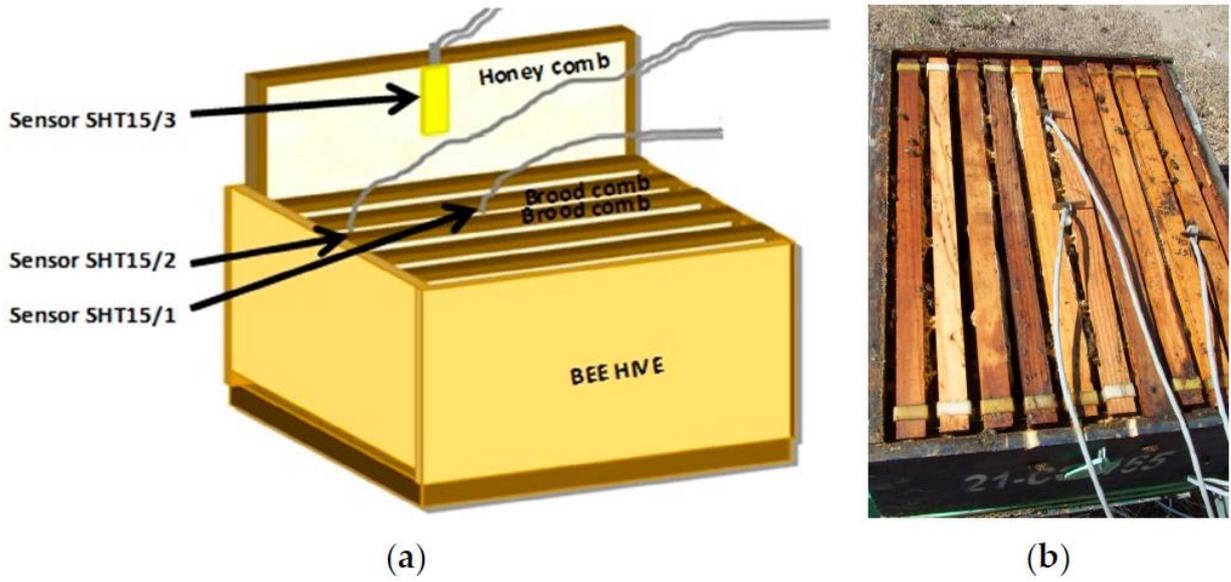


Figura 1.8 a) Ubicación de sensores b) Fotografía real [8]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para la metodología se propusieron tres alternativas que cumplen con los requerimientos del sistema. Se especificó el tipo de microcontrolador a usar, los sensores y cómo se procesaría la información para poder ser presentada ante el usuario.

2.1 Alternativas de solución

2.1.1 Solución A

Sistema constituido por una placa de Arduino, sensores de tipo DHT11, módulo HX711 y procesamiento de la información mediante la plataforma de ubidots.

2.1.2 Solución B

Sistema constituido por un Raspberry Pi, sensores de tipo DHT11, módulo HX711 y procesamiento de la información mediante base de datos PHP.

2.1.3 Solución C

Sistema constituido por una placa de Yubox/Arduino, sensores de tipo DHT11, módulo HX711 y procesamiento de la información mediante la plataforma de Firebase.

Para poder elegir la opción más viable se establecieron diferentes criterios de diseño para que el prototipo pueda cumplir con los requisitos necesarios. Se establecieron los siguientes:

- **Monitoreo:** Facilidad de procesamiento de datos.
- **Funcionalidad:** Límites de operaciones.
- **Costo:** Costo de todos los componentes.
- **Seguridad:** Riesgo de accidentes en el equipo y en la colmena. Privacidad y respaldo de datos.
- **Mantenimiento:** Ciclo de operación.

Se estableció una relación de importancia entre los criterios previamente definidos para poder realizar una más acertada selección.

Monitoreo > Costo = Funcionalidad > Seguridad > Mantenimiento

Tabla 2.1 Matriz de decisión de las alternativas

Alternativas	Costo	Mantenimiento	Seguridad	Monitoreo	Funcionalidad
Solución A	+	+	-	-	-
Solución B	-	-	+	+	++
Solución C	++	+	+	+	+

Para comparar los criterios se utilizó una ley de signo donde ++ equivale al porcentaje mayor, + al siguiente y – al porcentaje menor. A partir de esto se obtuvo que la solución que cumple con todos los criterios y es más viable de realizar es la solución C.

2.2 Diseño de concepto

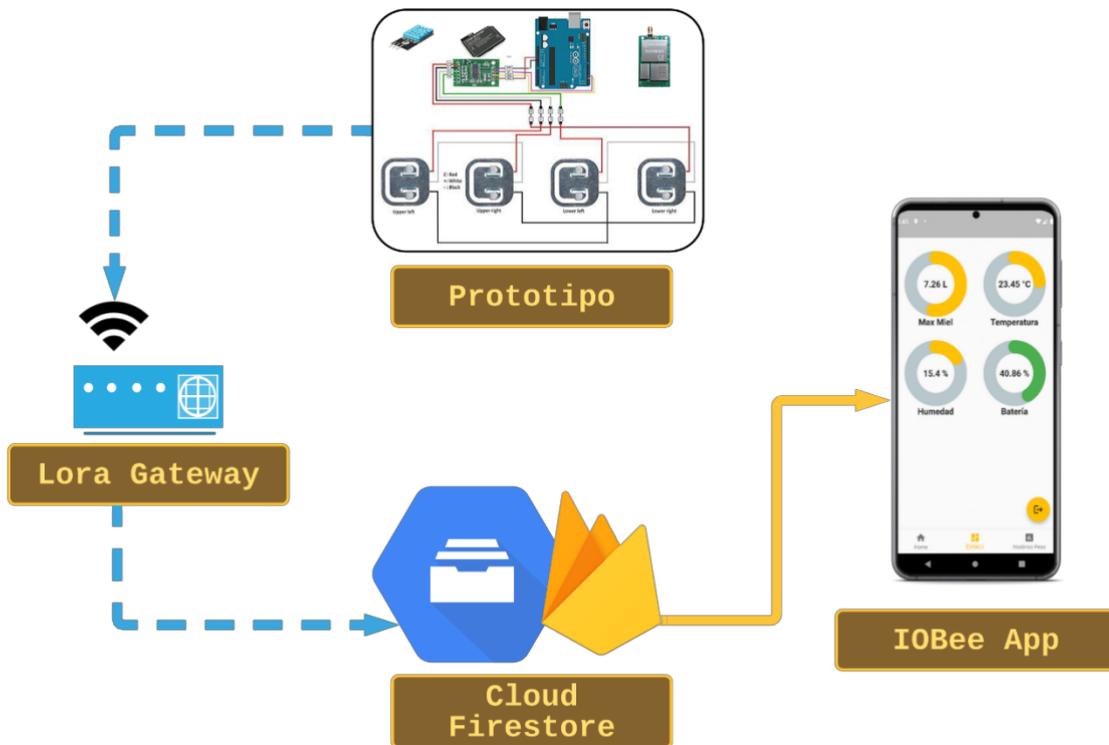


Figura 2.1 Diseño conceptual de la solución

2.3 Modelo analítico para el tiempo óptimo de cosecha

Para determinar la cantidad de miel máxima que podrá abarcar la colmena antes de su cosecha es necesario conocer la capacidad máxima de abejas dentro de una colmena, así lo establece la regla de Farrar. Esta regla indica que el cuadrado del peso de las abejas en una colmena es igual al peso de miel producida.

$$W_{honey} = (W_{bees})^2 \quad (2.1)$$

Las colmenas se diseñan de tal forma que permitan abarcar más o menos abejas con el fin de aumentar la producción de miel, en estos casos; las colmenas de tipo Langstroth posee una capacidad máxima de 45000 abejas. Conociendo teóricamente que por cada 10000 abejas se tiene un peso de 1 kg, se puede establecer que para una colmena Langstroth existirá un peso de 4.5 kg en su

máxima capacidad. Por lo que aplicando la regla de Farrar se obtiene un peso máximo ideal:

$$W_{honey} = (4.5)^2$$

$$W_{honey} = 20.25 \text{ kg}$$

Para expresar la cantidad de miel teórica en litros es necesario identificar su densidad, la cual tiene un valor aproximado de 1.410 Kg/L, con esto se puede establecer un modelo que permita expresar la cantidad de litros esperados en una colmena de tipo Langstroth.

$$\frac{(W_{honey})}{(\rho_{honey})} = \frac{(W_{bees})^2}{(\rho_{honey})} = L_{honey} \quad (2.2)$$

$$L_{honey} = \frac{(4.5)^2}{(1.410)}$$

$$L_{honey} = \frac{20.25 \text{ kg}}{1.410 \text{ Kg/L}}$$

$$L_{honey} = 14.36 \text{ L}$$

2.4 Modelo de colmena

Para el modelado de la colmena se tomó una muestra existente en la granja experimental de ESPOL, la cual; consta de una tabla de vuelo (tabla inferior), una cámara de cría (caja café claro), 2 cámaras de miel (cajas de café oscuro y verde claro) y un techo (lámina superior).



Figura 2.2 Colmena de muestra tomada de la granja experimental ESPOL.

Algo que es importante de resaltar es que usualmente las colmenas poseen 1 cámara de miel, pero, al ser una colmena muy productiva, se le ha añadido una cámara de miel extra; la cual, posee la mitad de altura que la cámara de miel principal.

Para el previo modelado de la colmena se efectuaron mediciones de largo, ancho, altura y grosor en las colmenas encontradas en la granja experimental de ESPOL. La cámara de cría y miel se midieron mediante flexómetro obteniendo las medidas de 50X42X24 cm para el marco con 2 cm de grosor.



Figura 2.3 Medición con flexómetro del largo de la cámara de cría, Granja Experimental

Un dato para tomar en cuenta es que las mediciones tomadas coinciden con las medidas teóricas pertenecientes a las colmenas de tipo Langstroth por lo que se basó el diseño estructural de la propuesta de solución para las colmenas de este tipo.

Se utilizó el programa Autodesk Inventor © para modelar la cámara de cría, miel y los marcos que irán dentro de las respectivas cámaras.

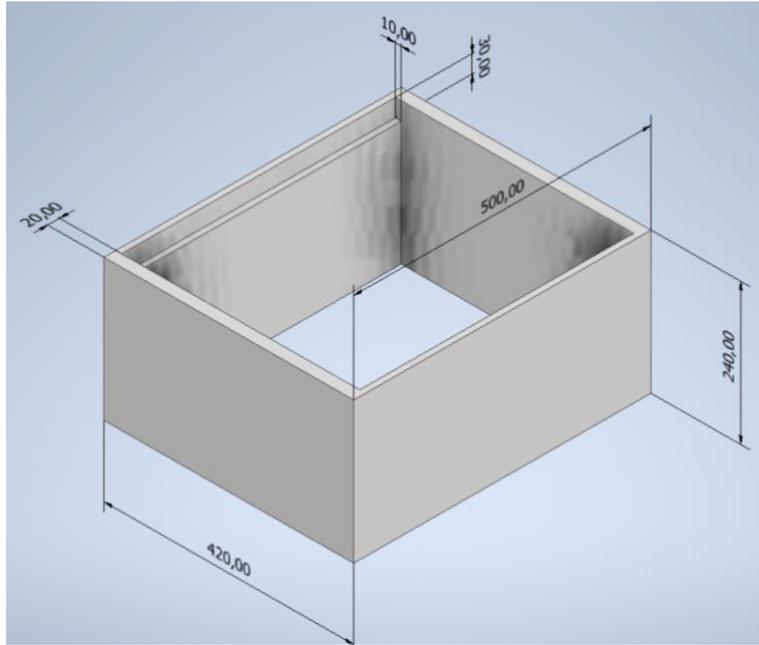


Figura 2.4 Modelado de la cámara de cría y miel encontrados en la granja experimental ESPOL.

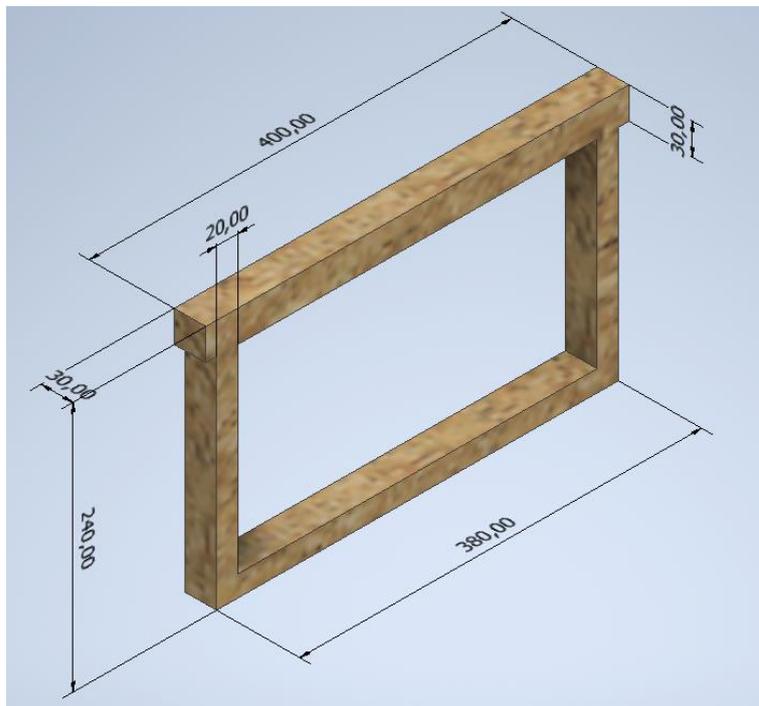


Figura 2.5 Modelado de los marcos para las cámaras de cría y miel encontrados en la granja experimental ESPOL.

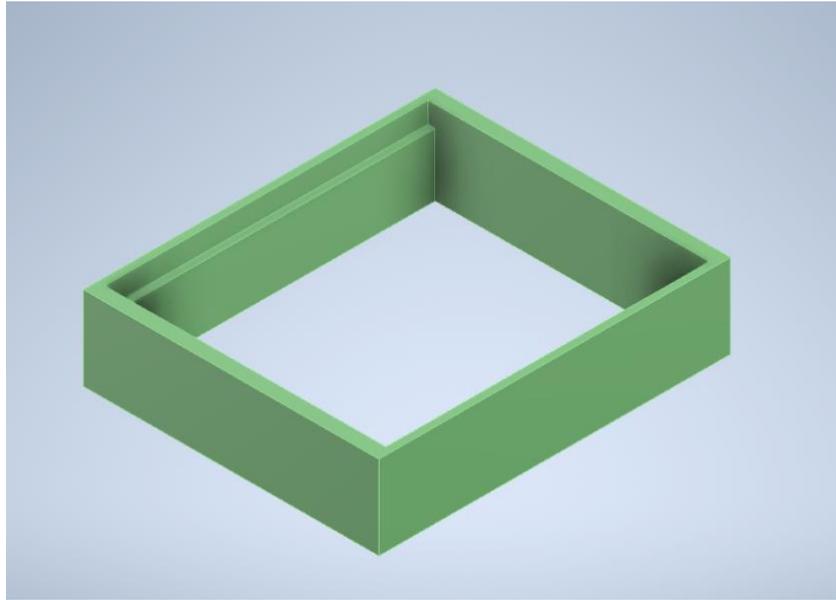


Figura 2.6 Caja pequeña para almacenar miel



Figura 2.7 Lámina de separación

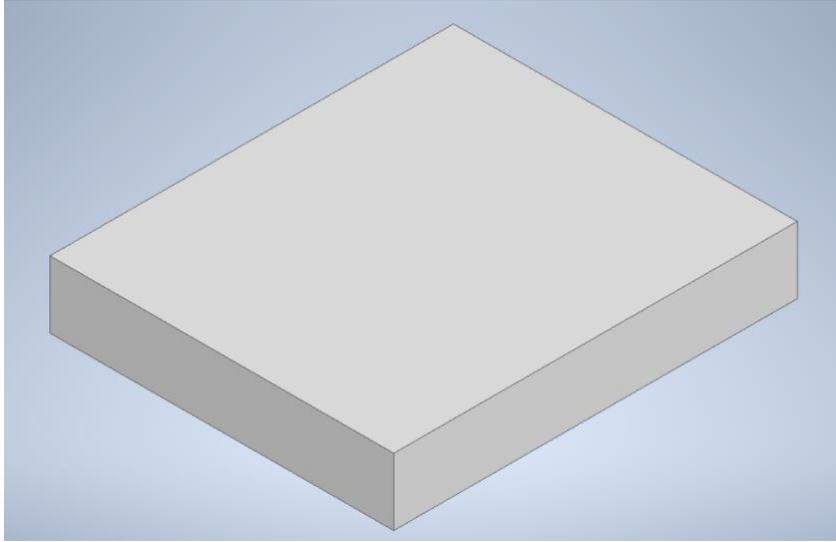


Figura 2.8 Tapa de colmena

2.5 Diseño de solución

Para el diseño del prototipo se debe tomar en cuenta que, en una colmena, la cámara de cría se encuentra debajo de las cámaras de miel, por lo que es importante que el dispositivo mida por encima de la cámara de cría para obtener solo información de la miel. Otro factor para tomar en cuenta es que el modelo del prototipo deberá ser capaz de medir el peso de la miel, su temperatura y humedad sin interferir con la forma de la colmena, mucho menos interferir con el trabajo de las abejas.

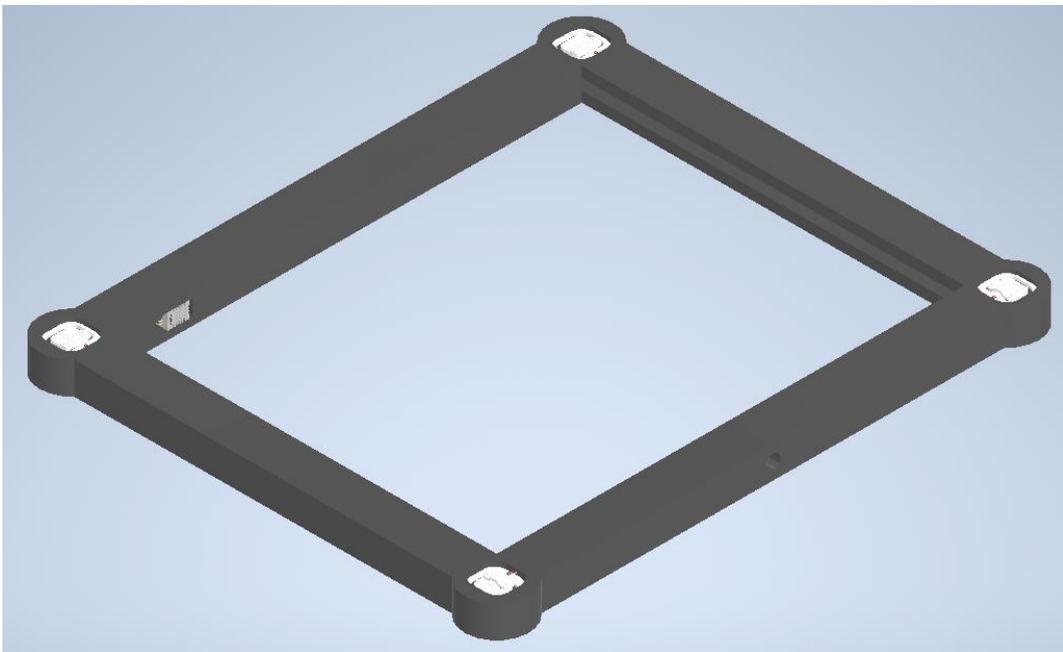


Figura 2.9 Modelo del prototipo solución para la medición de cantidad y calidad de miel

El modelo mostrado representa al prototipo solución que servirá para medir el peso, la temperatura y humedad de la colmena, la idea es que se instale entre la cámara de cría y las cámaras de miel de la colmena para que solo mida las cámaras de miel.

Las celdas de carga se colocan en las ranuras encontradas en cada esquina del marco, el agujero encontrado en cada superficie del marco sirve para pasar los cables hacia los carriles de conexión.

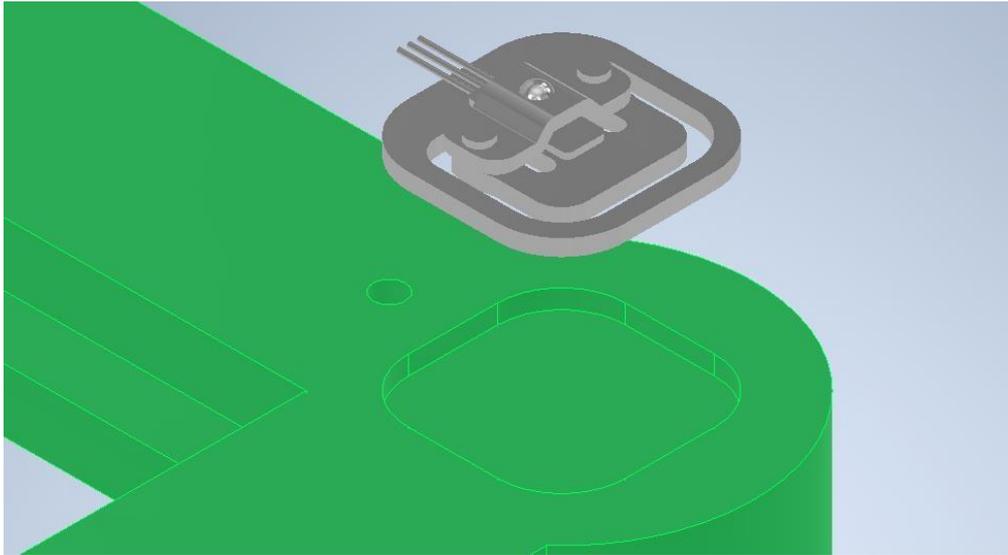


Figura 2.10 Ensamble de las celdas de carga al marco

El sensor de temperatura y humedad se coloca en una ranura específica al costado del marco y sobre el carril de conexiones dejando un espacio para que los cables de las celdas de carga puedan circular sin obstrucciones.

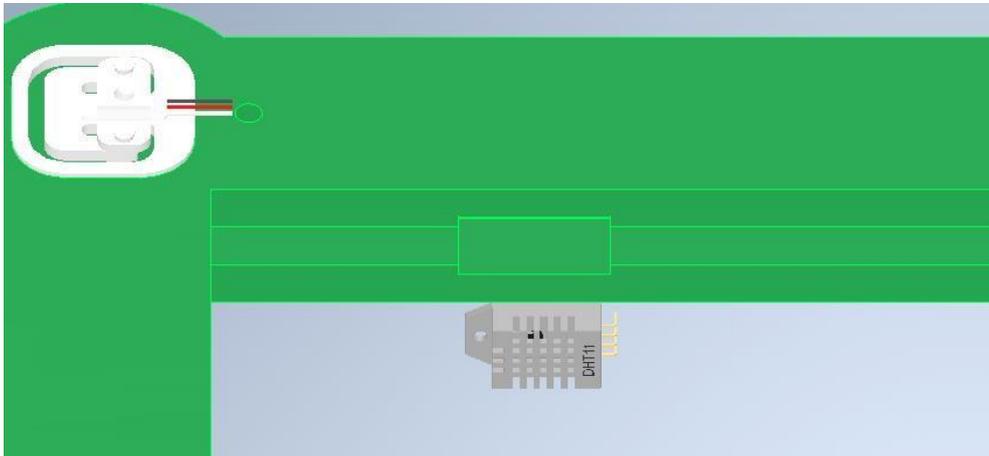


Figura 2.11 Ensamble del sensor DHT22 al marco

Los cables pasan por los carriles de conexión ubicados en la cara lateral interna del marco y salen por el orificio de salida, para este prototipo se requiere que salgan 4 cables de señales de las 4 celdas de carga, además de 3 cables correspondientes a la alimentación y señal del sensor de temperatura y humedad.



Figura 2.12 Ruta para el paso de cables

Acoplado las celdas de carga y el sensor de temperatura-humedad se tiene el diseño estructural completo. A partir de esto se realizó el ensamble con el marco y el controlador ubicado. Se observa que el marco con las celdas de carga se ubicaría debajo de la colmena para poder censar solo esta parte y obtener información de la producción de miel dejando afuera el cajón donde reposan las abejas.

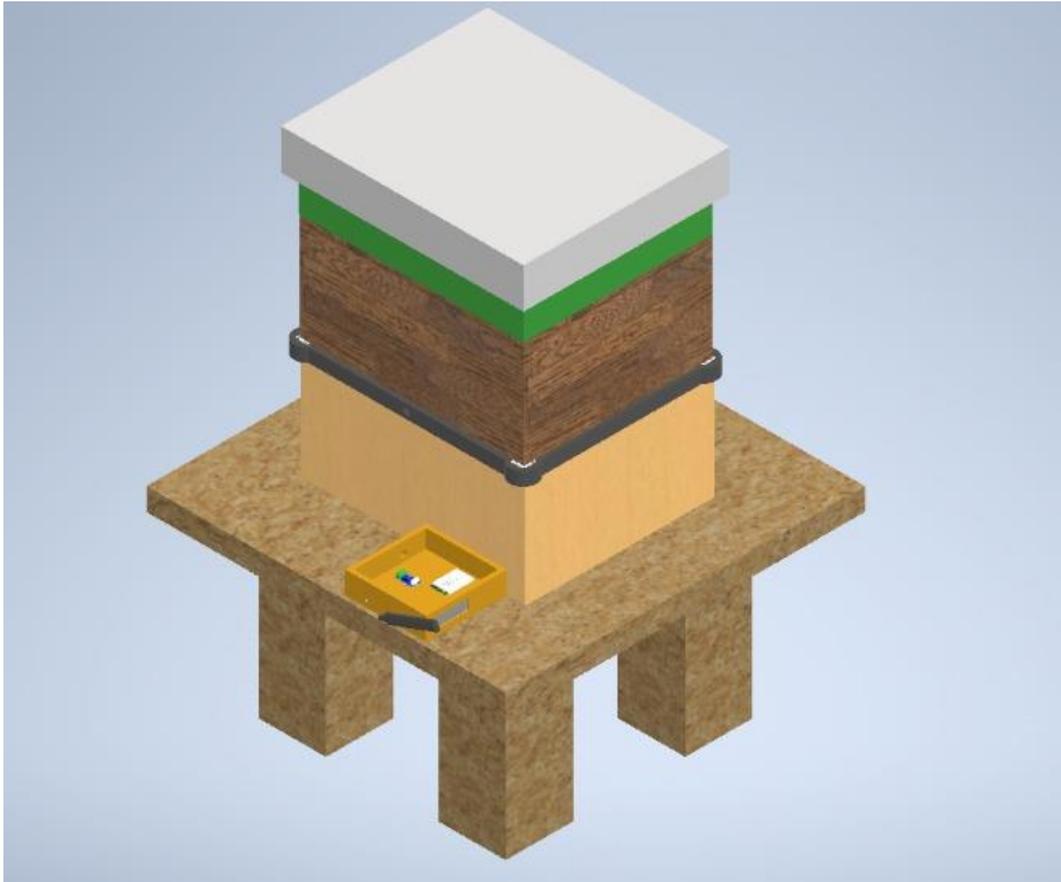


Figura 2.13 Ensamble de prototipo

2.6 Diseño electrónico

Para el sistema electrónico se emplean celdas de carga de 50 kg debido a que son componentes de fácil adquisición, de bajo precio en comparación con otras celdas de carga más robustas y su rango de medición entra dentro del peso máximo establecido en los cálculos igual a 28.25 kg, también se emplea un sensor de temperatura DHT22 debido a su tamaño compacto que permite ser adaptado fácilmente al marco del prototipo y su rango de medición es lo suficientemente amplio para medir temperaturas desde -40 hasta 100 grados Celsius y porcentaje de humedad relativa desde 0% hasta 100%.

El módulo HX711 es un módulo muy versátil que es compatible con muchos tipos celdas de carga, y es gracias a su capacidad de amplificar las señales analógicas y transformarlas en señales digitales, es por esto por lo que

es un módulo fundamental para la correcta lectura de los datos de peso. Para la comunicación del dispositivo con la base de datos se tiene un módulo Lora SX1272 ya que gracias a que trabaja con bajas frecuencias puede enviar la información recolectada por los sensores a grandes distancias hasta un máximo de 11 km.

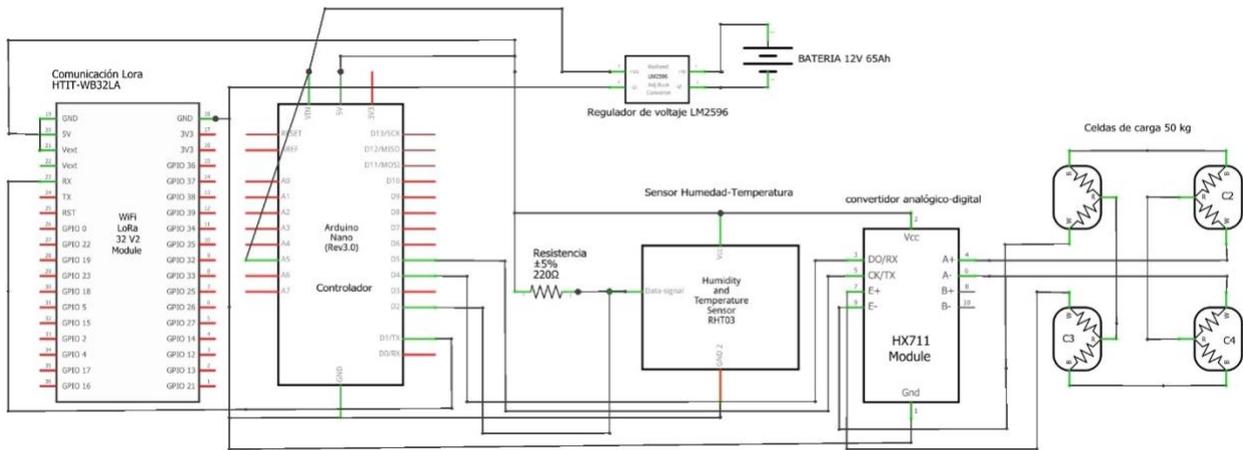


Figura 2.14 Esquema de conexión

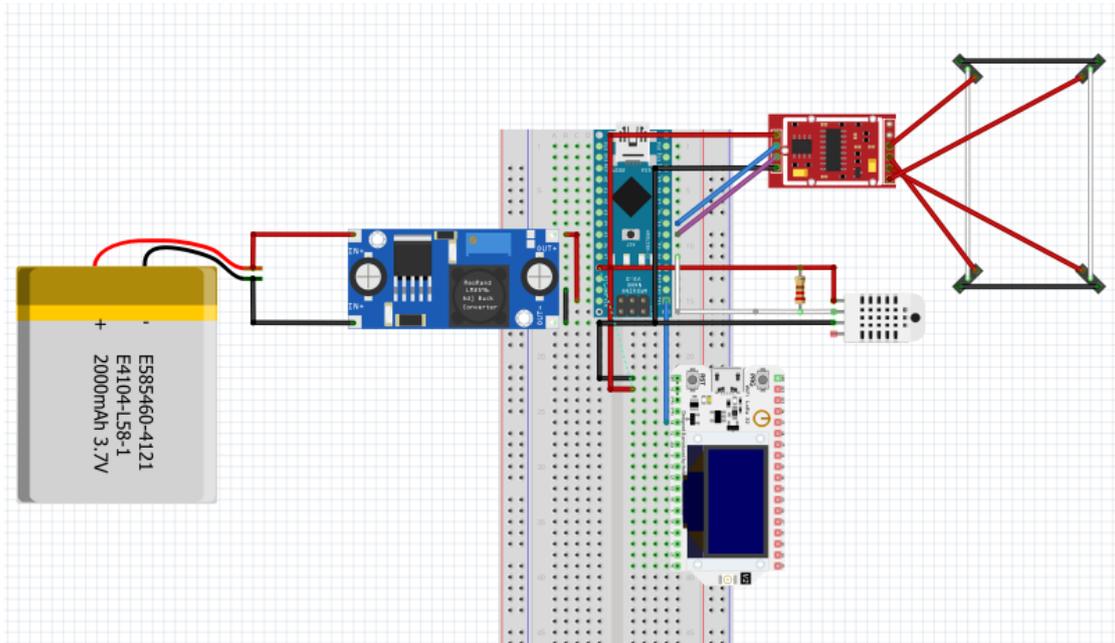


Figura 2.15 Sistema electrónico

Para medir el peso de la cámara de cría se conectan 4 celdas de carga colocados de manera equidistante entre ellas hacia un módulo de carga HX711 que transformará y amplificará las señales analógicas de las celdas en señales digitales. Los 4 sensores de carga de 50kg reciben un voltaje y la deformación de su galga genera un voltaje residual que lo recibirá un módulo de carga HX117 que interpretará la entrada de voltaje como peso y este debería estar recorriendo a los valores de 20.25 kg.

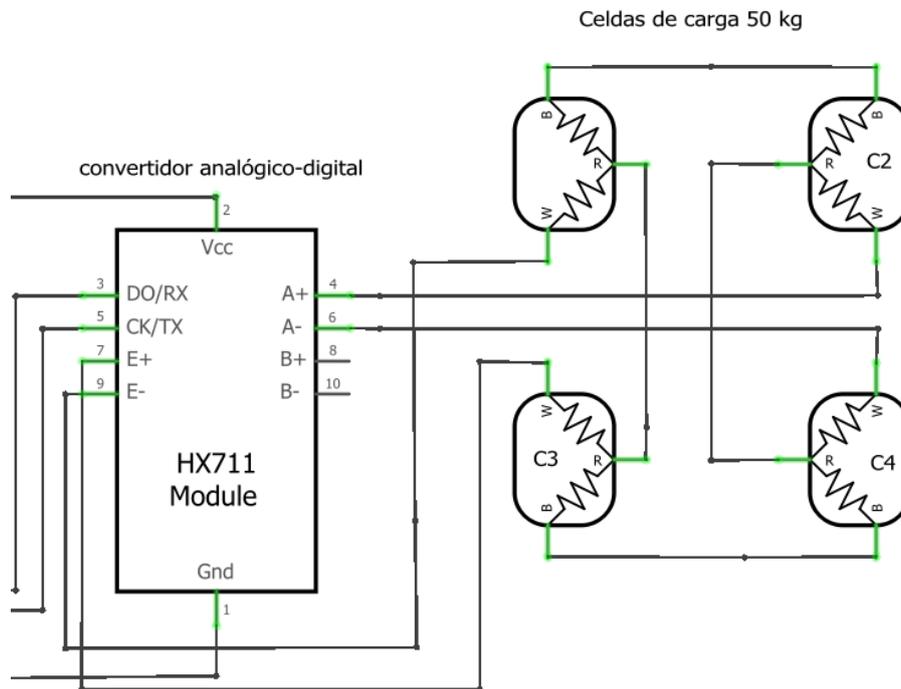


Figura 2.16 Esquema relacionado a la conexión entre 4 celdas de carga y el módulo HX711

Para el sistema electrónico se emplea un módulo Arduino para desarrollar el control y la toma de datos de todos los sensores. Cada uno de los valores tomados por el Arduino se envían mediante un módulo LoraWAN RHF0M301 que se suben a la nube del Gateway Lora y una vez dentro se podrán cargar los datos a la base de datos Firebase de la aplicación móvil.

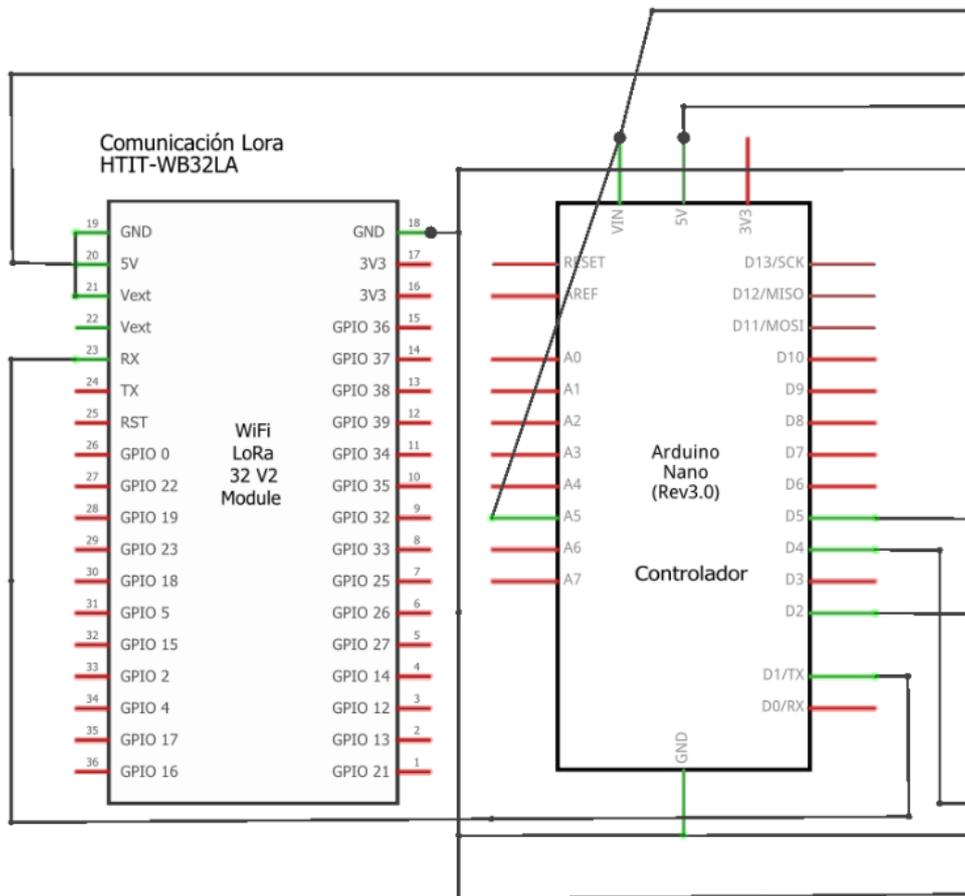


Figura 2.17 Esquema de circuito de procesamiento y envío de datos

El sensor de DHT22 brinda información de temperatura y humedad relevante a la temperatura y esta debería estar rondando a los 36 grados a 17% de humedad.

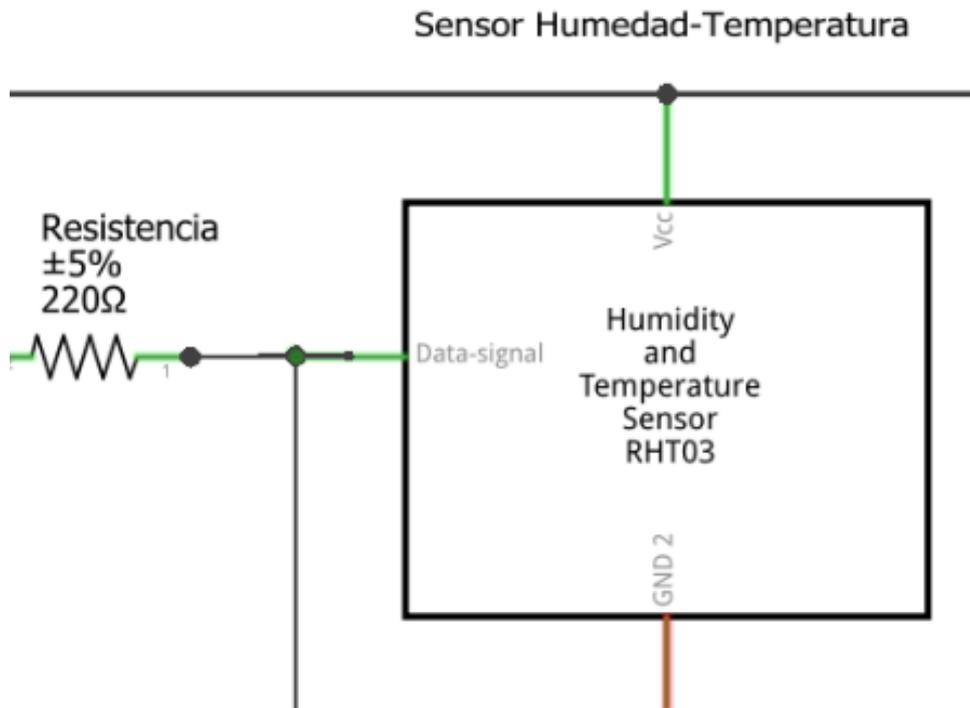


Figura 2.18 Esquema de conexión del sensor de temperatura-humedad

2.6.1 Consumo energético mensual

Para determinar el consumo energético mensual se midieron tanto el voltaje de operación como el amperaje por hora del microcontrolador, el conjunto de sensores y el módulo Lora.

Tabla 2.2 Consumo energético de componentes

LISTA DE COMPONENTES	VOLTAJE [V]	AMPERIOS HORA [mAh]	POTENCIA HORA [mWh]
Arduino Nano	9	15	135
Modulo Lora sx1272	3.3	58	191.4
Modulo HX711	5	15	75
DHT22	5	1.5	7.5

La Tabla 2.2 indica el amperaje por hora de cada uno de los componentes empleados en el diseño obteniendo un total de 89.5 mAh consumidos. Para determinar el consumo mensual del dispositivo se

analiza la cantidad de amperios hora que se requieren para 30 días empleando la siguiente ecuación:

$$C = I * h * 30 [Ah/mes] \quad (2.3)$$

Donde C es el consumo de amperios hora, “h” son las horas de encendido y “d” son los días que trabajará previo al cambio de batería. Teniendo en cuenta que debe permanecer encendido todo el día y se estima un periodo de mantenimiento mensual se tiene el siguiente valor de consumo:

$$C = 89.5 * 24 * 30 [Ah/mes]$$

$$C = 64\,440 [Ah/mes]$$

$$C = 64.4 [Ah/mes]$$

Con la información del consumo mensual se puede seleccionar la fuente de poder correcta para abastecer el dispositivo de energía durante todo un mes, en este caso; se necesitaría una batería que brinde 9V a 64.4 Ah.

2.6.2 Selección de fuente de poder

Comercialmente no existen baterías de 9V que brinden 64.4 Ah a menos que se junten en paralelo más baterías, pero sería muy costoso y poco práctico, por lo que se sugiere utilizar una batería de auto de 12V a 65Ah con el fin de suministrar la cantidad de amperaje suficiente para darle autonomía al dispositivo durante un mes. Como el microcontrolador solo puede soportar hasta 9V se necesita un regulador de voltaje que permita reducir el exceso de voltaje de la batería de 12V y soportar el amperaje entregado, para este caso se incorpora un circuito LM2596.

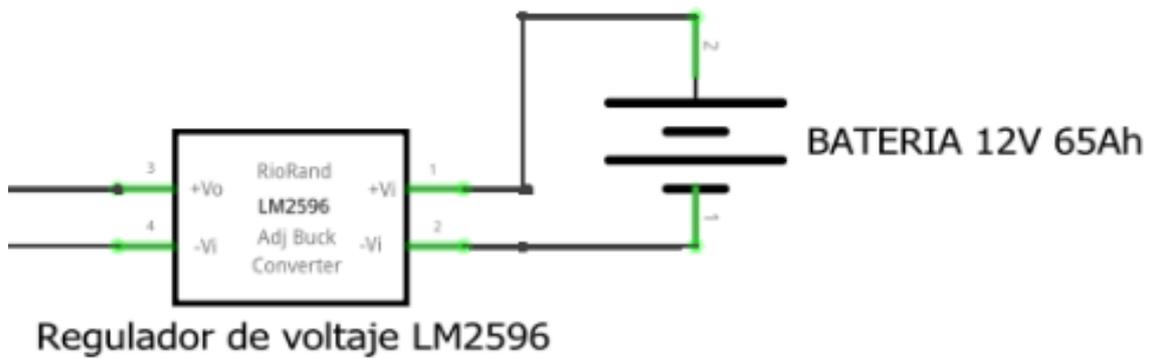


Figura 2.19 Esquema relacionado a la fuente de poder

Analizando más a fondo con respecto a las especificaciones de la batería, esta debe ser de ciclo profundo ya que estará sometida constantemente a cargas y descargas, si se desea conocer el tiempo de descarga y vida útil de la batería se debe conocer primero el material de la batería, al proponer el uso de una batería de auto se entiende que será una batería compuesta de ácido-plomo. Teóricamente, es suficiente determinar el tiempo de descarga (t) conociendo la capacidad de la batería (C) y la corriente de trabajo (I) determinado con la siguiente relación [13]:

$$t = \frac{C}{I} \quad (2.4)$$

Lastimosamente es muy poco realista esta relación, la realidad es que a medida que la batería se vaya descargando, el tiempo de trabajo previo a la descarga ira cambiando, para esto existe el coeficiente de Peukert que permite obtener una resolución más clara del tiempo de descarga de la batería en relación del porcentaje de batería restante.

Para obtener el coeficiente de Peukert es necesario 2 corrientes nominales de una batería de ácido plomo, estas corrientes se obtienen dividiendo 2 capacidades de una batería con el tiempo que le toma

descargar toda la batería, por lo general, se somete a descarga una batería a descargar su energía en periodos de 5 horas y 20 horas pero también se pueden usar periodos múltiplos de 5, lo importante es descargar la batería en 2 periodos de tiempo diferentes y detectar la corriente nominal que se requiere para descargarlo completamente, en el caso de baterías de ácido plomo se toman los periodos de 5 horas y 20 horas.

Ya que se trabaja con baterías de ácido plomo se puede buscar la ficha técnica de una batería de dichas características. En esta se indica la capacidad de corriente en relación con el periodo de tiempo de descarga. Basado en la Tabla 2.3 se pueden observar las características para una batería ácido plomo de 65 amperios-hora. Este tipo de batería tiene una corriente de descarga de 3.56 A para el periodo de descarga de 20 horas y 11.2 A para el periodo de 5 horas [14].

Tabla 2.3 Relación de capacidades con las corrientes de descarga en periodos de tiempo determinado de una batería de ácido de plomo

Rated Capacity	20 Hours Rate		5 Hours Rate	
	Amps	AH	Amps	AH
28.0 AH	1.5	30	5.1	25.5
35.0 AH	1.8	36	6.5	32.5
42.0 AH	2.25	45	7.2	36
56.0 AH	3	60	9.5	47.5
65.0 AH	3.53	70.6	11.2	56

Una vez obtenido las corrientes de descarga y los periodos de descarga se puede obtener el coeficiente de Peukert (n) gracias a la siguiente relación:

$$n = \frac{\ln(t_2) - \ln(t_1)}{\ln(I_2) - \ln(I_1)} \quad (2.5)$$

Reemplazando los valores correspondientes de la tabla 2.3 obtenemos:

$$n = \frac{\ln(5) - \ln(20)}{\ln(3.5) - \ln(11.2)} = 1.20$$

Teniendo en consideración el coeficiente de Peukert igual a 1.20, el consumo nominal del dispositivo igual a 89.5 mA y la capacidad de la batería igual a 65 Ah se puede establecer el tiempo de descarga real basado en el porcentaje de capacidad que alcance la batería empleando la expresión del tiempo de descarga basado en el coeficiente de Peukert:

$$t = C * \frac{\left(\frac{C}{R}\right)^{n-1}}{I^n} \quad [horas] \quad (2.6)$$

Siendo R el periodo de tiempo de descarga máximo que es de 20 horas establecido al inicio del análisis.

$$t = 65 * \frac{\left(\frac{65}{20}\right)^{1.2-1}}{(0.0895)^{1.2}} = 1489.71 \text{ horas}$$

Este valor de tiempo es bastante alto y supera fácilmente los 2 meses de autonomía, si se analiza con valores menores de capacidad podemos observar que se puede ajustar en un tiempo que sea adecuado para el uso de 1 mes aproximadamente.

Tabla 2.4 Variación del tiempo de descarga de una batería ácido plomo con respecto a su capacidad

Capacidad [Ah]	Tasa de descarga [A]	Tiempo [hora]
65	0.0895	1489.71
40	0.0895	831.91
30	0.0895	589.05
20	0.0895	362.11

Con esto se determina que al someter la batería a una corriente inferior a los 0.1 A esta no se descargará igual de rápido que si estuviese sometido a una mayor corriente, por ende, se puede utilizar una batería de menor capacidad para hacer funcionar el dispositivo durante un mes sin problemas, con una batería de 40 Ah sería más que suficiente y recomendable para no perjudicar la utilidad de la batería ya que si se descarga por completo puede desgastar más rápido sus componentes químicos.

2.7 Diseño de aplicación

Además del diseño mecánico se planificó la elaboración de una aplicación móvil en el programa de Android Studio con el IDE de Flutter. En esta aplicación se visualizaría la información de las variables de temperatura, humedad y peso dentro de estos cajones de producción de miel para poder tener la información de monitoreo a distancia.

Flutter es una herramienta open source creada por Google que permite el desarrollo de interfaz gráfica. Actualmente es utilizado ampliamente para la elaboración de aplicaciones tanto para Android, iOS, Windows, Mac, Linux, Google Fuchsia y web, todo esto mediante un mismo código base. Para realizar esto se compila en lenguaje Dart para la implementación de cada plataforma. El framework se encuentra escrito en los lenguajes de programación C, C++, esto permite que se convierta en una herramienta que ha ganado popularidad entre ingenieros de software por su versatilidad. Los paquetes oficiales y los paquetes desarrollados por la comunidad se encuentran disponibles en <https://pub.dev/>. Toda la documentación oficial se obtiene de la página oficial <https://flutter.dev/>.
[10]



Figura 2.20 Página de Splash

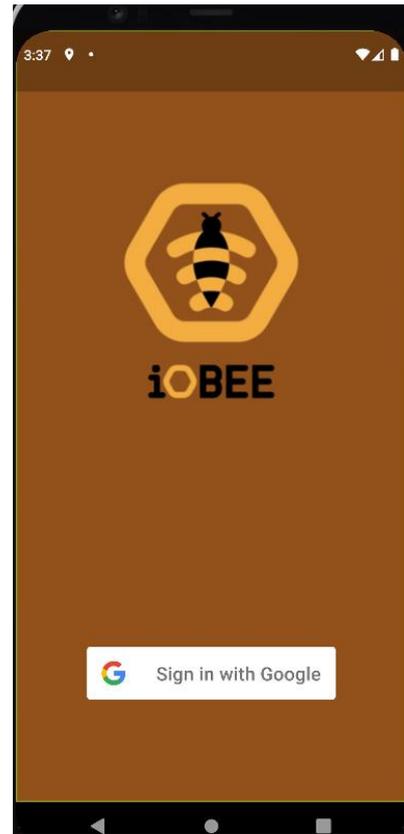


Figura 2.21 Página de Inicio

La primera pantalla que se presenta en el aplicativo móvil corresponde a la pantalla del *splash* que se mostrará al momento de presionar sobre el icono. Después se presentará un *login* con el servicio de Google que permitirá que el usuario ingrese a su sistema con su correo de Gmail como método de privacidad.

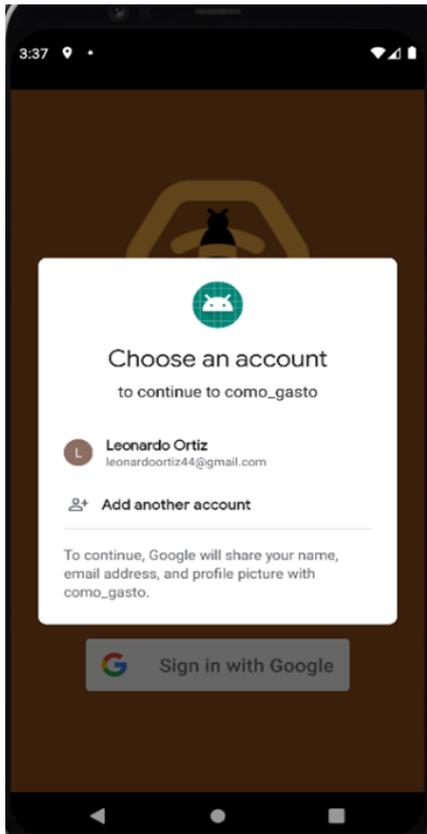


Figura 2.22 Login Google

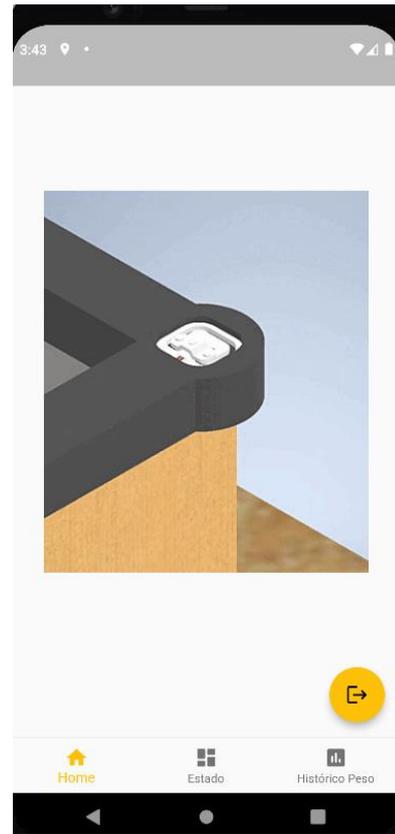


Figura 2.23 Página Home

Se podrá acceder con el correo electrónico del servicio de Gmail como se aprecia en la Figura 2.22. Se redirigirá a la página de inicio o Home donde se encontrará el modelo en 3D de la colmena con el prototipo. Además, se observa en las opciones de la barra inferior el botón para observar el monitoreo de las variables de la colmena y el botón para observar el Histórico del Peso. También en todas estas páginas se encontrará un botón flotante amarillo que permitirá el cierre de sesión en cualquiera de estas ventanas anexas.

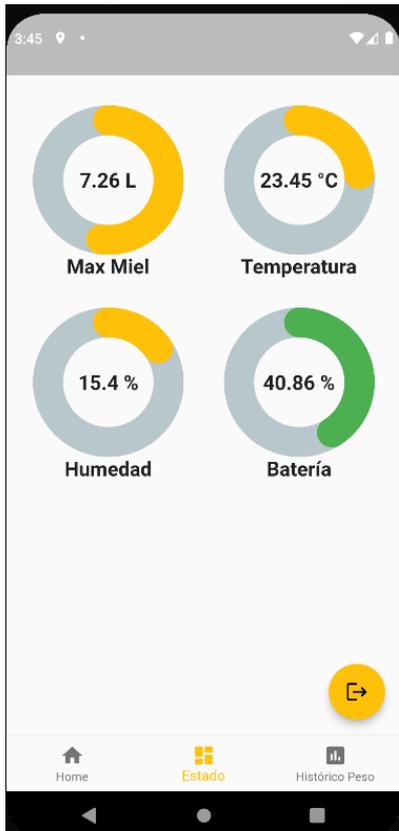


Figura 2.24 Monitoreo de variables

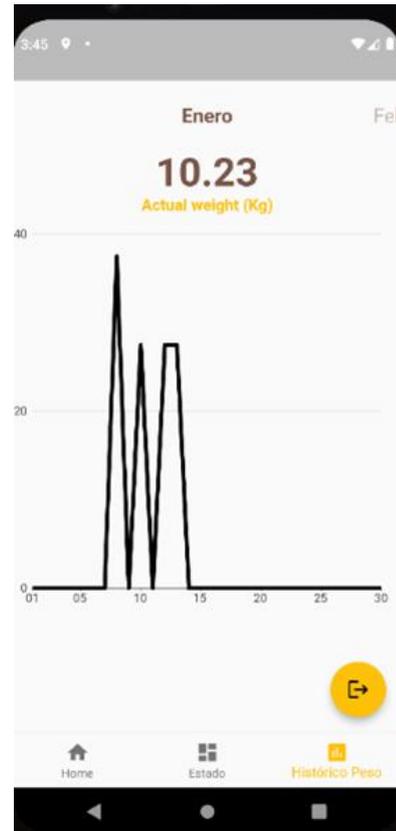


Figura 2.25 Histórico de peso

En la pestaña de Estado se observa las ruedas que corresponden a los distintos tipos de variables del prototipo a analizar. Se tendrá una rueda correspondiente a la cantidad de Miel máxima posible, otra correspondiente a la temperatura en la colmena, otra para la humedad y finalmente una rueda que indique la batería en el prototipo. En la pestaña de Histórico de peso se tendrá el historial de los pesos máximos que ha registrado el prototipo respecto a la cantidad de miel, separado por día.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis estructural del diseño planteado

Una vez establecido el diseño de forma del prototipo es indispensable conocer si el material soportará la carga de la miel y los elementos estructurales de la colmena, para esto se plantea inicialmente el desarrollo de la estructura mediante impresión 3D empleando filamento plástico PLA. El prototipo debe ser capaz de soportar la carga del peso máximo de miel dentro de la cámara de alza de miel el cual es igual a 20.25 kg más el peso de las cámaras de alza de miel pesados previamente dando un valor igual a 8 kg aproximadamente, con esto se obtiene un peso de carga máxima igual a 28.25 kg, adicionando un margen de error equivalente al 10% del peso máximo analizado se logra establecer un peso ideal de carga máxima para el análisis computacional igual a 31 kg.

El material PLA posee una resistencia a la fluencia de 49.5 MPa [12], pasado de ese límite de esfuerzo el material sufrirá deformación permanente hasta romperse, el análisis de elemento finito ayuda a predecir los esfuerzos y las deformaciones que pueden generarse en el prototipo.

Editor de materiales: PLA

Identidad Apariencia **Físico**

Nombre PLA

Descripción Activo estructural genérico.

Palabras clave estructural, genérico

Tipo Genérico

Subclase

Origen Autodesk

URL de origen

▼ **Térmico básico**

Conductividad térmica 1.000E-02 Con (m · k)

Calor específico 1.207 J/ (G · ° C)

Coefficiente...ión térmica 126.000 µm/(m·°C)

▼ **Mecánico**

Comportamiento Isótropo

Módulo de Young 3.299 GPa

Coefficiente de Poisson 0.40

Módulo cortante 2.800 MPa

Densidad 1.240 g/cm³

▼ **Resistencia**

Límite de elasticidad 49.498 MPa

Figura 3.1 Características físicas del material PLA obtenidos por método de testeo ISO
527

Los puntos fijos se colocaron sobre la cara inferior del diseño y la fuerza se distribuyen en 4 partes asumiendo que los 4 sensores ubicados en las esquinas soportarían toda la carga equivalente a 64.29 N por cada uno.

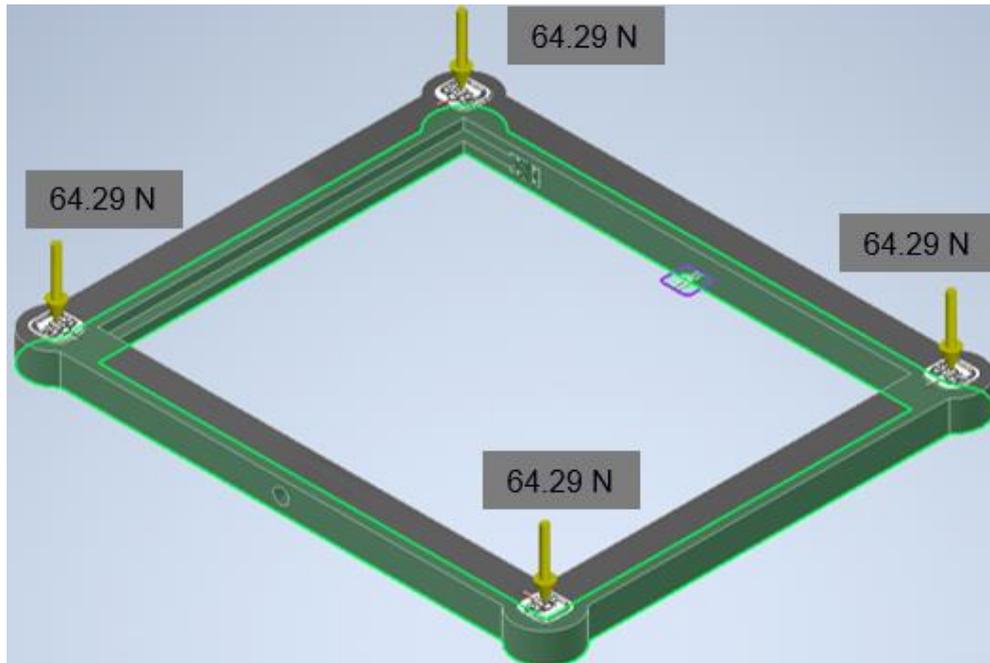


Figura 3.2 Asignación de parámetros previo al análisis de elementos finitos

Una vez realizado la simulación, se obtuvo un desplazamiento máximo del modelo igual a 0.025 mm ubicado en las esquinas de la base, este valor no compromete el funcionamiento de los sensores ya que la altura entre la superficie del marco y la celda de carga es igual a 6.5 mm por lo que aun el peso de la cámara de miel se concentra en los sensores.

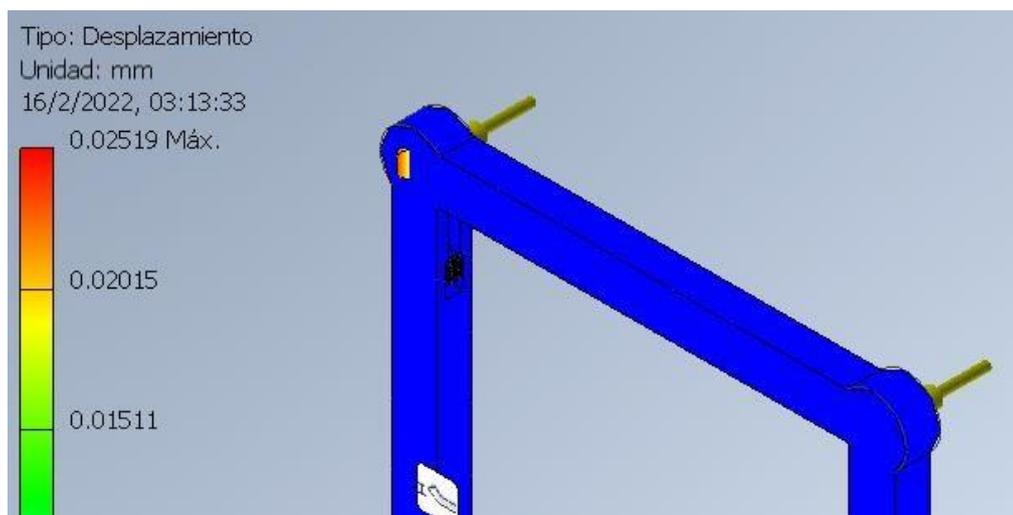


Figura 3.3 Análisis de desplazamiento del modelo en vista inferior

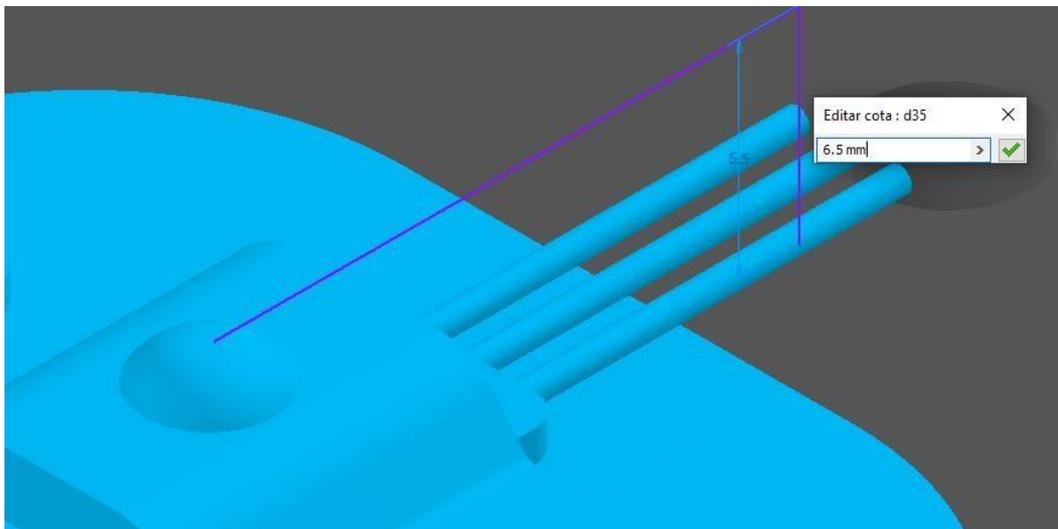


Figura 3.4 Distancia entre la superficie del marco y la celda de carga

El análisis de elemento finito también generó un coeficiente de seguridad de 15 a lo largo de todo el modelo, lo que indica que será capaz de soportar sin problemas la carga máxima de la colmena de muestra.

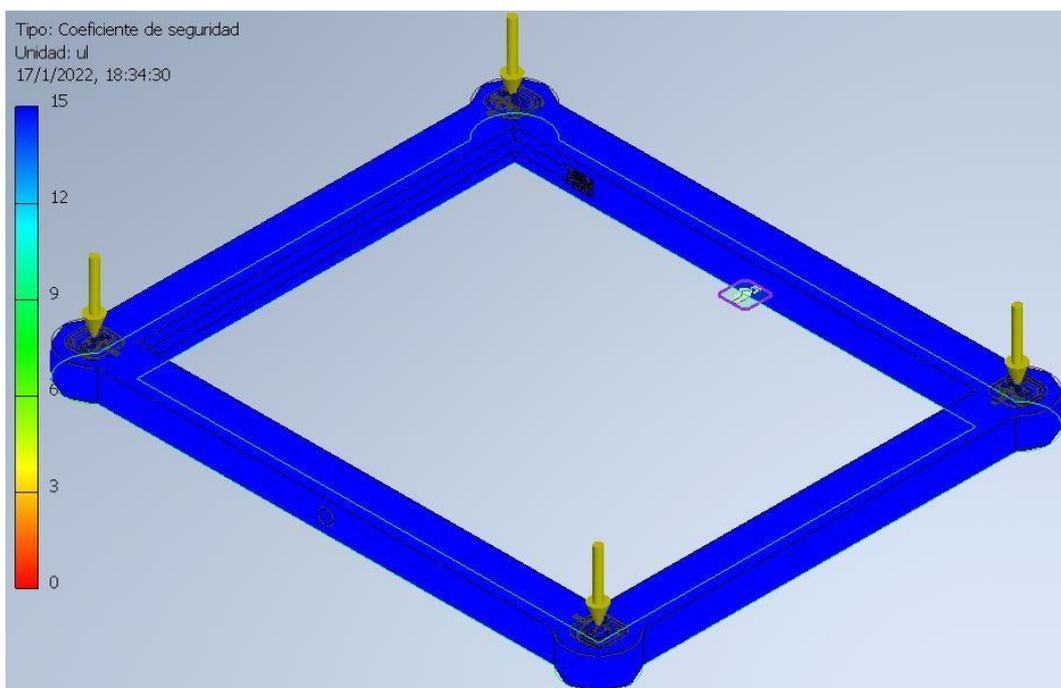


Figura 3.5 Coeficiente de seguridad del modelo obtenido del análisis de elemento finito

3.2 Prueba de concepto del diseño mecatrónico

El marco está impreso en 3D empleando plástico PLA y recubierto mediante pintura en aerosol negro esmaltado anticorrosivo para evitar el desgaste del material, las celdas de carga se colocaron en cada extremo gracias a las ranuras prediseñadas y pegados con plástico epoxi, los cables fueron colocados dentro de la estructura mediante los rieles diseñados previamente. Las celdas de carga poseen 3 cables: un cable blanco, rojo y negro, en donde; los cables blancos se conectan en pareja de 2 celdas, los cables negros sirven para unir una pareja de celdas de carga con otra y los cables rojos son los que se conectan al módulo HX711.



Figura 3.6 Prototipo del marco de soporte

Se coloca un sensor DHT22 dentro de la ranura mostrada con el fin de captar las señales de temperatura y humedad interna de la colmena, este sensor requiere de 3 cables para su funcionamiento; un cable Vcc, uno para Gnd y otro para enviar la señal de temperatura y humedad al microcontrolador que está conectado a su pin 2.



Figura 3.7 Riel de contención para cables

El modulo HX711 recibe las señales de las 4 celdas de carga, amplifica el voltaje de retorno y transforma la señal analogica en una señal digital que puede leer la placa de arduino mediante los pines 4 y 5, a su vez; el modulo recibe corriente gracias a los pines Vcc y Gnd de la misma placa.

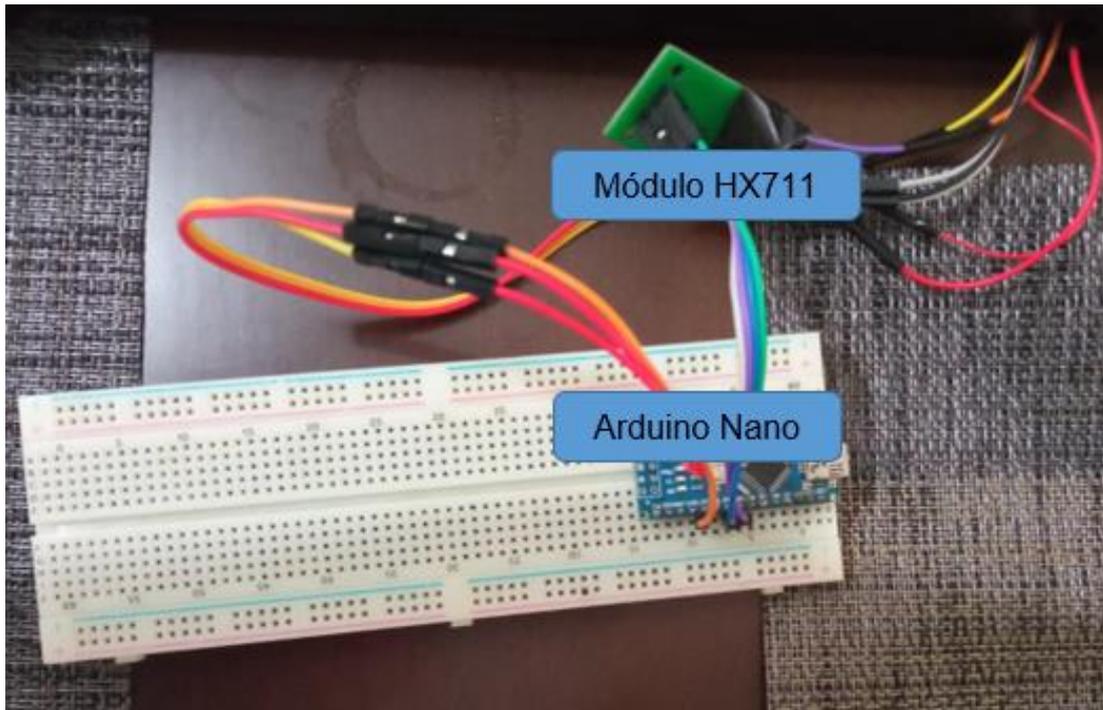


Figura 3.8 Circuito de control y procesamiento de datos

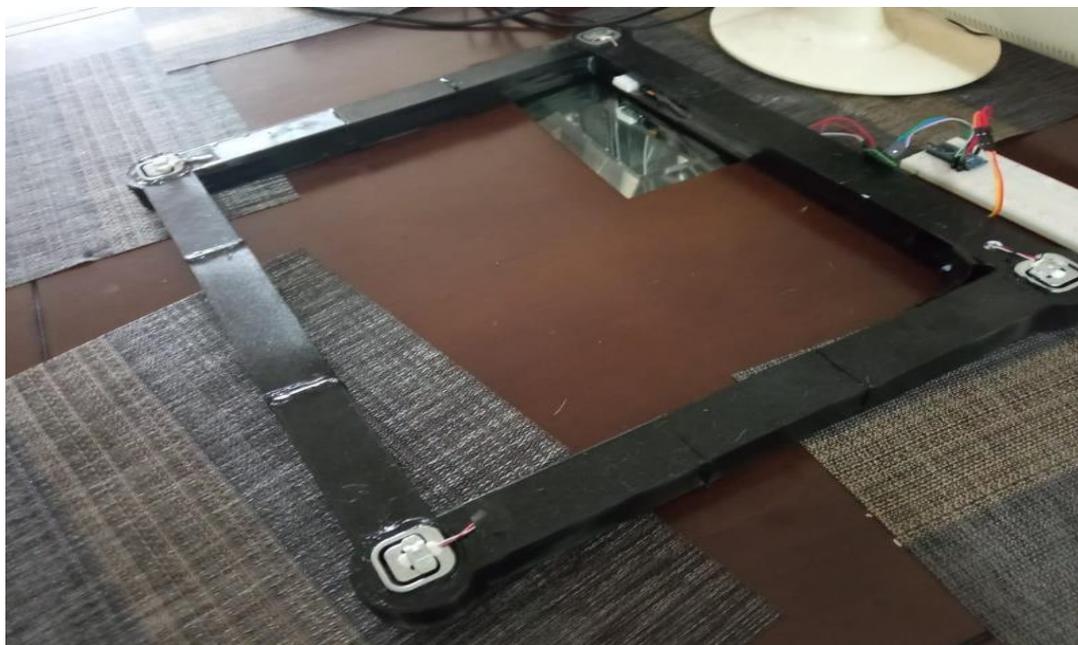


Figura 3.9 Prototipo IOBEE ensamblado

Para probar las celdas de carga se emplea un peso conocido, en este caso de 6.25 kg, y se ajusta el factor de calibracion de los sensores hasta que se consiga obtener el valor real del peso visualizado desde el monitor Serial del IDE de Arduino, para estas celdas de carga se obtuvo un factor de calibracion igual a 16805 unidades con un excedente de 528.30.



Figura 3.10 Prototipo en funcionamiento

Una vez encontrado el factor de calibración se resta el valor del excedente del valor leído dentro del monitor Serial y se puede obtener la lectura real de las celdas de carga, como se puede observar en la Figura 3.5, se tiene un valor estable de 6.25 Kg con una resolución de más menos 0.01, también se observan los valores de humedad y temperatura, siendo 67.00 el porcentaje de humedad en el ambiente y 25.20 la temperatura en grados Celsius.

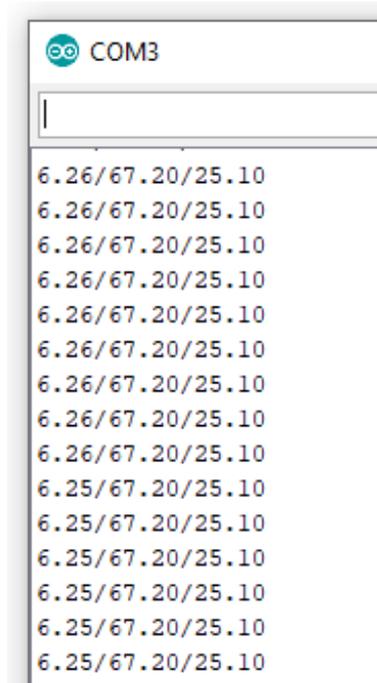


Figura 3.11 Lectura de datos del prototipo mediante Serial Scope del IDE Arduino

3.3 Prueba de conectividad

Para las pruebas de conectividad se trabaja mediante simulación de conexiones punto a punto usando puertos seriales virtuales otorgados gracias al Virtual Serial Port, para este caso, se configuran COM3 y COM4 como puertos disponibles para establecer la comunicación entre el puerto serial del prototipo y el gateway Lora respectivamente.

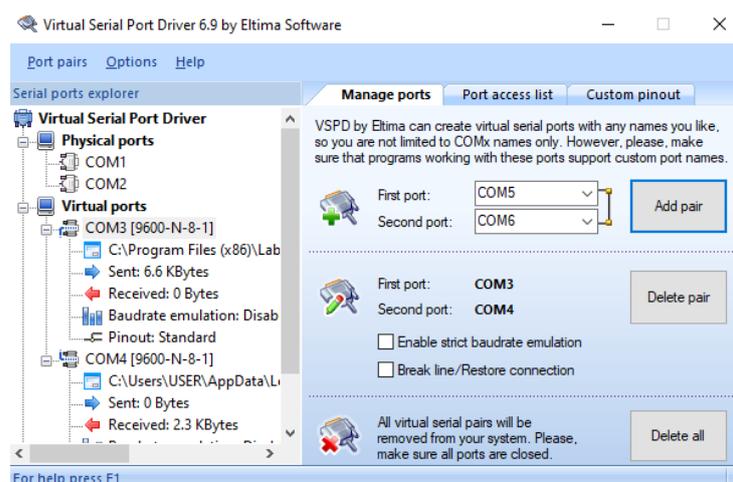


Figura 3.12 Comunicación serial punto a punto virtual

Para simular el gateway Lora se implementa un código en lenguaje Python que funciona como mediador de datos entre el dispositivo y la nube en Firebase, este código toma los datos obtenidos del prototipo gracias a la conexión realizada por el Virtual Serial Port y los envía a la base de datos gracias a la librería de firebase-admin en intervalos de un día para obtener un historial diario del rendimiento de la colmena. Los datos enviados a la base son el día y mes de emisión de la información, la humedad y temperatura actual, el peso de la cámara de miel y el índice, el cual; es la fecha de emisión en formato de día, mes, año y hora.

```
38
39     agregarDatos(día, humedad, mes, peso, temperatura, indice)
40     print(peso)
41     print(humedad)
42     print(temperatura)
43
```

main x

```
C:\Users\USER\PycharmProjects\pythonProject1\venv\Scripts\python.exe C:/Users/USER/Pycharm
6.25
67.3
25.1
```

Figura 3.13 Simulación Gateway Lora para el envío de datos a la nube

3.4 Prueba del aplicativo móvil

Para el almacenamiento de datos adquiridos mediante el diseño mecatrónico se creó una base de datos no relacional en línea en la nube de Google. Esta base de datos recibiría los datos enviados por el Lora Gateway para registrarlos en esta en tiempo real. La colección lleva el nombre de datos y dentro de esta se recibían los datos obtenidos identificados por la fecha y hora exacta con la que son enviados hacia la base de datos. Esto permitiría que estén correctamente organizados y si por algún motivo se necesitaba corroborar la información se sabría el momento exacto que se recibió además que esta identificación no se repetiría.

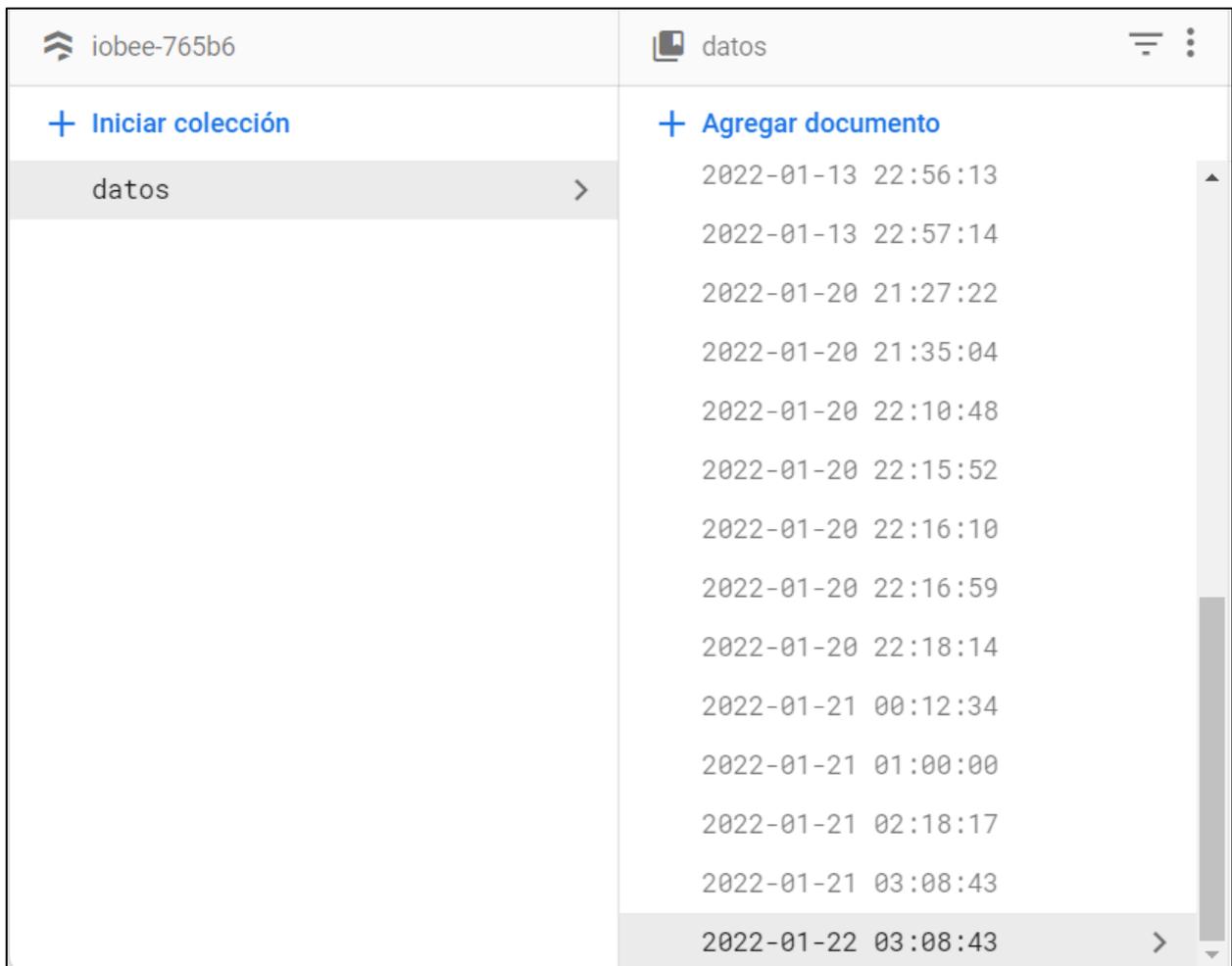


Figura 3.14 Registro de base de datos

Dentro de estos documentos identificados con la fecha se tendría la información obtenida por los sensores como lo son la temperatura, humedad, peso, estas variables serían números con 2 decimales para mayor exactitud. Los campos de día y mes serían números enteros y se obtendrían mediante el Arduino. Esta información estaría ordenada de esta manera para poder presentarla correctamente en la interfaz de usuario del aplicativo móvil.

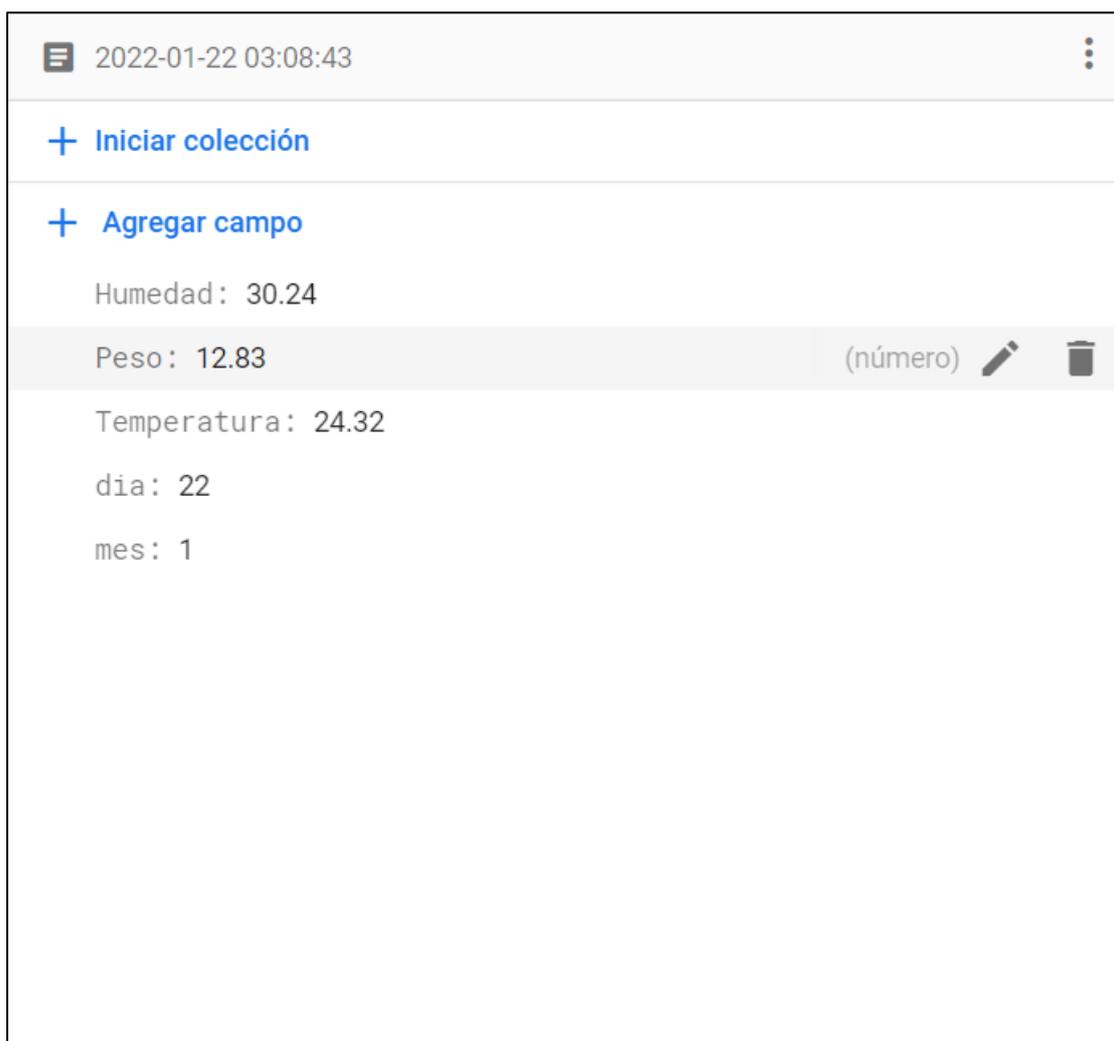


Figura 3.15 Campos de los datos ingresados

Para realizar la prueba de concepto del aplicativo móvil se estableció como se comportaría la colmena en una situación de producción de miel normal. Mediante el modelo analítico establecido se dedujo la cantidad de miel máxima posible y la rueda de progreso indicaría la cantidad antes de llegar al máximo de 14 Litros. Se observa en la Figura 3.15 la cantidad de miel que se ha registrado al

comienzo de la producción, la rueda comienza su llenado. Para la Figura 3.16 esta estaría casi a la mitad del proceso de producción máxima al encontrarse la rueda llena a la mitad.

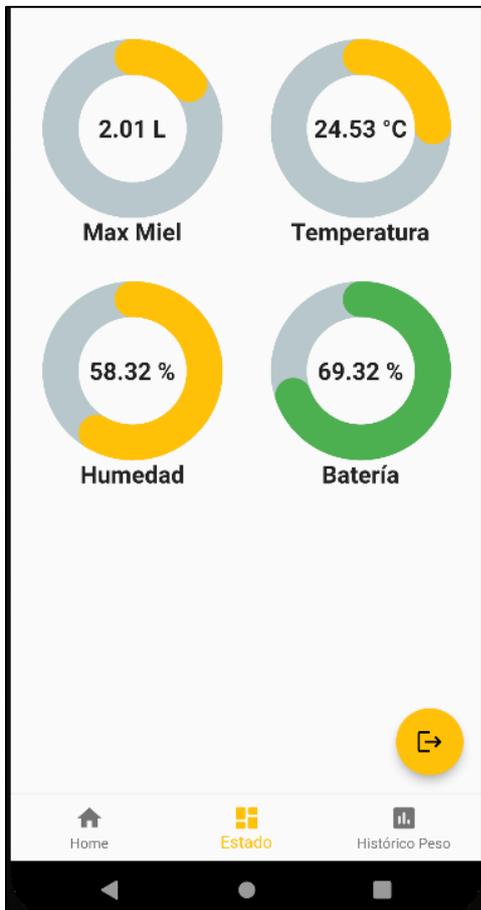


Figura 3.16 Comienzo de producción

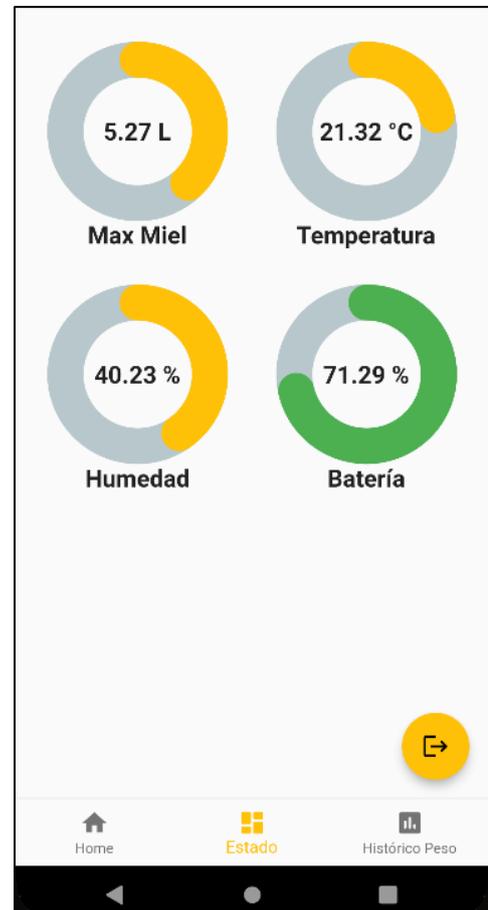


Figura 3.17 Etapa intermedia de producción

En la Figura 3.17 se aprecia como se comportaría el sistema al momento que esté cerca del tiempo de recolección de la miel. La rueda de progreso está casi alcanzando los 14 Litros por lo que el apicultor puede monitorear la colmena y acercarse para verificar la producción de miel y comenzar la extracción. La producción de miel ocurre dos veces al año por lo que el aplicativo permitiría al apicultor estar al tanto del progreso en el proceso sin necesidad de estar presente. La propuesta de solución también podría servir como indicativo para situaciones de riesgo en la colmena como incendios, robo o caída de la colmena, al tener sensores de humedad, temperatura y peso.

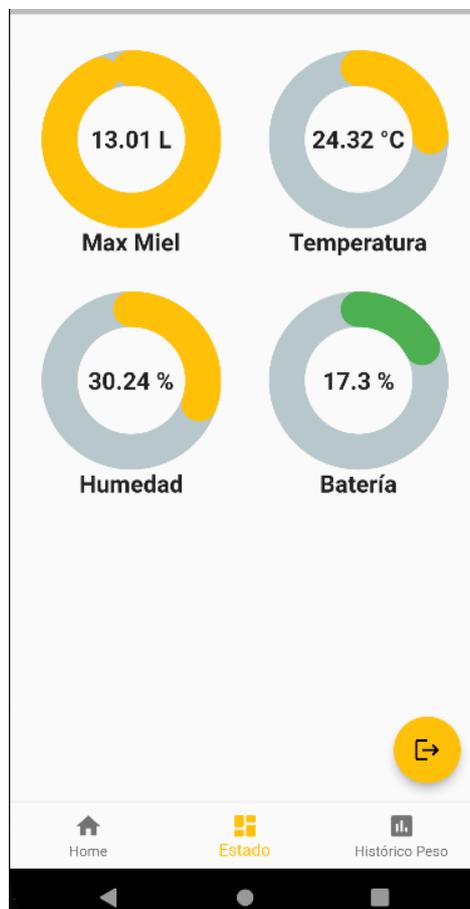


Figura 3.18 Etapa final de producción

Finalmente se tiene el historial del registro del peso obtenido del dispositivo que serviría para que el apicultor revise irregularidades en el comportamiento. La gráfica estaría en crecimiento en una situación ideal, pero expandiéndose en más tiempo hasta llegar al peso máximo posible de 20 Kilogramos. Después de realizar la primera extracción la gráfica volvería a 0 y comenzaría una vez más el proceso.

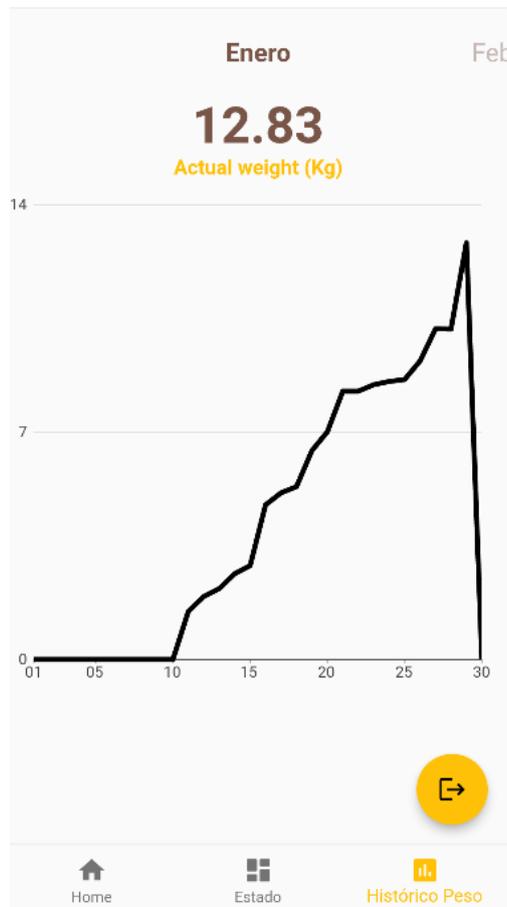


Figura 3.19 Gráfica de pesos del mes

3.5 Análisis de costo

Para el análisis de costo del proyecto se considera el precio de los materiales empleados en el prototipo empleado en la prueba de conceptos y los elementos que harían falta para que trabaje de manera autónoma, como la batería, el módulo Lora para la emisión de datos, y la puerta de enlace para enviar los datos hacia la nube.

Tabla 3.1 Costos considerados para la propuesta de solución

Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	U	Arduino Nano V3.0	\$ 12.00	\$ 12.00
2	1	U	Módulo HX711	\$ 5.00	\$ 5.00
3	1	U	Módulo Lora sx1272	\$ 12.40	\$ 12.40
4	1	U	Módulo DHT22	\$ 6.50	\$ 6.50
5	1	U	Impresión 3D de marco	\$ 30.00	\$ 30.00
6	1	U	Impresión 3D de caja	\$ 10.00	\$ 10.00
7	1	U	Batería Bosch S4 12V 65Ah	\$ 118.00	\$ 118.00
8	15	m	Cable AWG 28	\$ 0.80	\$ 12.00
9	1	U	Regulador de voltaje LM2596	\$ 16.00	\$ 16.00
10	4	U	Celdas de carga	\$ 5.00	\$ 20.00
11	1	U	Gateway Lora HT-M00	\$ 55.89	\$ 55.89
Costo Total					\$ 297.79

Como se puede apreciar en la tabla 3.1, se muestra el costo de la implementación de un solo sistema de monitoreo, pero la puerta de enlace Lora HT-M00 permite hasta 30 nodos Lora conectados simultáneamente, por lo que si se desea añadir más equipos a la red no es necesario considerar el Gateway dentro del presupuesto para los dispositivos extras.

Con respecto a la batería, existen un sinnúmero de distribuidoras que pueden facilitar la adquisición e incluir descuentos tras la compra, la opción más viable es utilizar una batería Bosch S4 de 65Ah, esta batería permite alimentar el

dispositivo de manera continua y puede ser recargada mediante el alternador de un auto para no comprometer su vida útil, aunque; si el precio es poco asequible se puede utilizar una batería Exiwill 12V a 45Ah que está a un precio de \$70.00 en el mercado ecuatoriano y podrá cumplir con su trabajo dentro del plazo de 2 a 3 semanas antes de su descarga.

Tabla 3.2 Proyección de ganancia anual

Proyección de producción de miel anual				
# Colmenas	Litros extraídos	Precio litro unitario	Temporadas cosecha	Ganancia anual
1	14 litros	\$ 10.00	2	\$ 280.00

La tabla 3.2 indica las ganancias que puede generar una colmena que coseche por temporada hasta 14 litros, el cual; es el máximo establecido gracias al modelo de Farrar ajustado y que esta implementado en la aplicación para alertar al apicultor de su pronta extracción. Una colmena monitorizada puede llegar a generar hasta \$280 por año, eso implica que se necesitaría un año y un mes para recuperar la inversión de un solo sistema.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El proyecto propuesto se diseñó con el objetivo de facilitar la tarea del monitoreo de la producción de miel en las colmenas de tipo Langstroth. Este permitiría visualizar las condiciones en la colmena a distancia sin provocar perturbaciones en la colmena, permitiendo también visualizar algún tipo de irregularidad en el sistema, como robo de la colmena, algún posible incendio o caída de la colmena. Se ideó el sistema con requerimientos en mente como el bajo costo y facilidad de implementación.

Se desarrolló un modelo de marco que se ubicará en la colmena tipo Langstroth y que permitirá registrar el peso de las cajas de producción de miel, obviando las cajas de reproducción de abejas. Este modelo se analizó en el software de Autodesk Inventor para verificar si el material a implementar sería capaz de soportar las cargas a las que será sometido. Debido a esto se eligió de material para el marco el polímero de ácido poli láctico o PLA que es comúnmente usado en las impresiones 3D.

La selección del material PLA para la impresión 3D del marco permitió obtener bajos costos, pero se podría considerar alguna alternativa más económica aún. El marco cuenta con orificios para adaptar los sensores lo que permitiría el registro de las variables dentro del sistema como la temperatura y humedad sin volverse invasivo alterando la tranquilidad de las abejas. Así mismo, se imprimirá una caja donde se ubicará los componentes electrónicos para una mejor presentación y evitar cualquier accidente.

La implementación del aplicativo móvil brindó una solución sencilla para que el usuario, el apicultor, revise el estado de su colmena. La base de datos en línea de Google es una alternativa sencilla que permite el correcto registro y almacenamiento en la nube para acceder a ésta y poder conectarse con la aplicación. El monitoreo de

las diferentes variables permite corroborar que la miel tenga los requerimientos de temperatura y humedad buscados.

4.2 Recomendaciones

El trabajo presentado se basó en una colmena proporcionada por la granja experimental en ESPOL por lo que su implementación en otros tipos de colmena puede variar, así como la información obtenida. Considerando los apicultores en el Ecuador como posibles clientes esto no sería tan grave ya que se tiene como estándar las colmenas tipo Langstroth, pero sí en otros sectores donde no está estandarizado el tipo a usar.

Como alternativa para dar energía al sistema diseñado se podría considerar la implementación de paneles solares. Esta alternativa no se consideró para la propuesta ya que las condiciones en donde se emplearía no serían favorables para justificar su uso. Además, los paneles solares aumentan el costo de producción del sistema.

La propuesta de solución es utilizada únicamente en una colmena ya que esta fue designada para las pruebas, pero sería posible adaptar el prototipo para que se pueda obtener la información de varias colmenas en un sector a la vez. Esto se traduciría a un sistema interconectado y a una aplicación que permita la visualización de varios dispositivos a la vez.

Se debe considerar también que la propuesta utiliza comunicación mediante Lora Gateway. Es necesario contar con una antena correspondiente dentro del sector donde se planea implementar la solución. Esto permitirá la conexión y envío de datos hacia la base de datos en línea de Google. También es importante considerar el respectivo mantenimiento de la antena para su correcto uso.

Para la prueba de concepto se realizó un aplicativo en manera de prueba. Se recomienda realizar las respectivas verificaciones y publicación de información del proyecto si se desea subir la aplicación a las tiendas de Play Store o App Store. La

configuración de las reglas de la base de datos de Google también deberá ser modificada para que sea apta su publicación.

4.3 Trabajo Futuro

El proyecto presentado tiene muchas áreas en la que puede ser más desarrollado para obtener un producto más completo. Se puede implementar la capacidad de interconectar diferentes prototipos para así monitorear más colmenas a la vez. Esto sería muy útil de implementar a una granja que cuenta con varias colmenas para producción.

Se podría elaborar distintos usuarios en un mismo aplicativo por si se quiere implementar en diferentes sistemas. Esto se realizaría al nivel de la base de datos y cada usuario correspondería a un sistema con su respectiva información. Así el apicultor podría monitorear más de una colmena a la vez. Para que la base de datos de Google abastezca su servicio sería necesario pagar una suscripción.

Se podrían explorar alternativas para el diseño de los marcos que permitan disminuir el costo al ser producido por mayor cantidad. Así como los costos de producción pueden verse disminuidos si se adquieren sensores y componentes al por mayor. Se podría explorar la posibilidad de reemplazar la tarjeta de Arduino por una tarjeta Yubox que es desarrollada dentro del país.

Al obtener años de información monitoreada por el prototipo se podría proponer la implementación de inteligencia artificial para mejorar el monitoreo de las colmenas. Se podrían utilizar algoritmos predictivos que indiquen con antelación cuando sería el momento idóneo para que se retire la miel de la colmena.

BIBLIOGRAFÍA

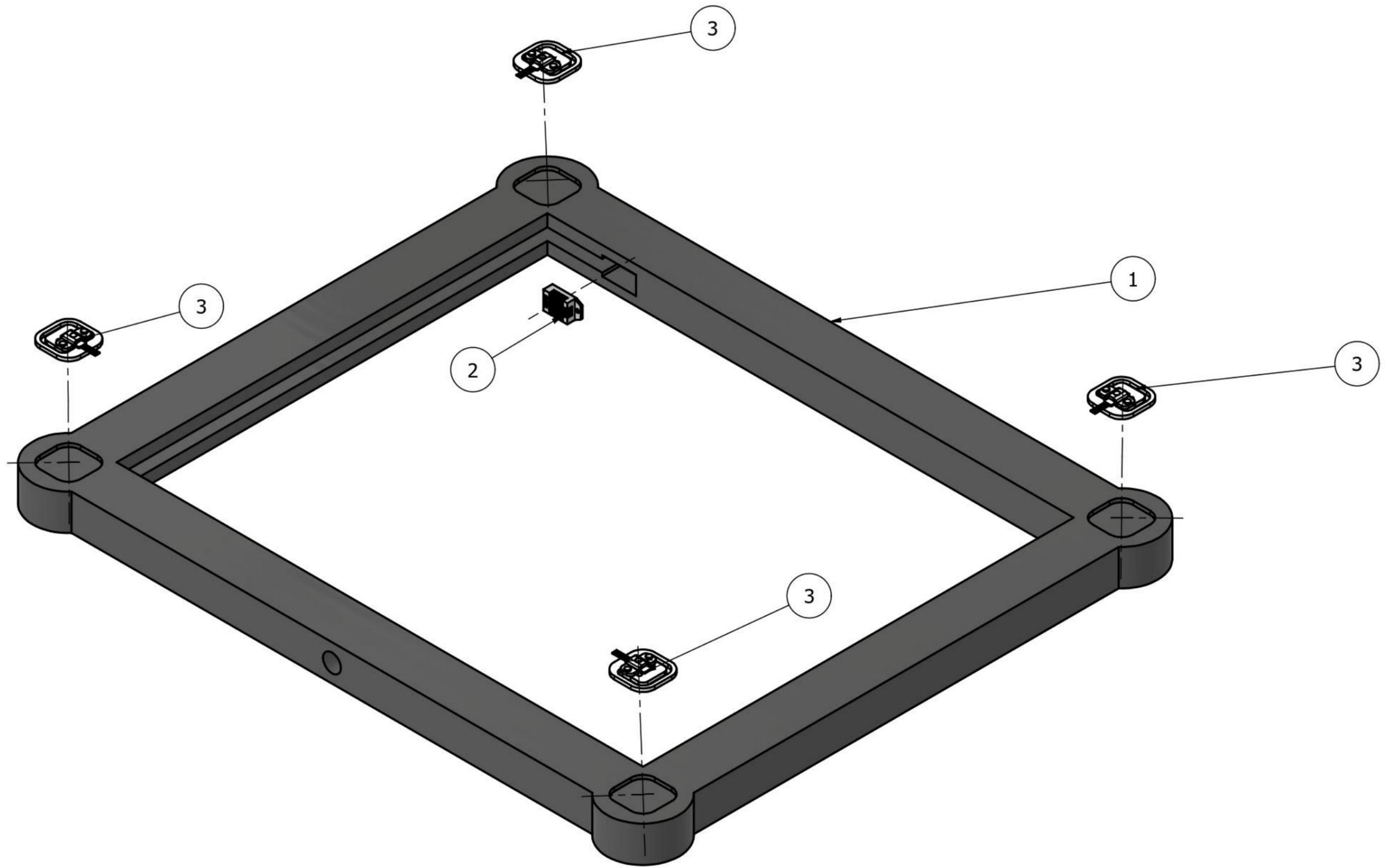
- [1] S. B. Fattori, *la miel, propiedades, composición y análisis físico-químico*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2004..
- [2] D. J. A. Ulloa, *La miel de abeja y su importancia*, tepic, méxico: Universidad Autónoma de Nayarit, 2010.
- [3] D. d. F. STAT, «<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>,» [En línea]. [Último acceso: (18/6/2018)].
- [4] B. J. M. ZAMORA, «COMPARACIÓN DE DOS MODELOS DE COLMENA PARA ABEJAS *Apis mellifera* (Oscar Perone vs Langstroth),» UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala, 2014.
- [5] C. Apicultores, «Corona Apicultores,» 27 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://coronaapicultura.blogspot.com/2017/01/colmena-langstroth-ii.html>. [Último acceso: 27 Enero 2022].
- [6] E. Baglio, «Honey: Processing Techniques and Treatments.,» de *Chemistry and Technology of Honey Production*, 2017, pp. 15-22.
- [7] A. Kviesis, A. Zacepins, M. Durgun y S. Tekin, «Application of wireless sensor networks in precisionapiculture. In Proceedings of the 14th International Scientific Conference Engineering for Rural Development,» 2015.
- [8] A. Zacepins, A. Kviesis, P. Ahrendt, U. Richter, S. Tekin y M. Durgun, «Beekeeping in the future—Smartapiary management.,» 2016.
- [9] I. M. B.-A. E. F. C. A. F. C. A. George Calin Seritan, «Low cost platform for monitoring honey production,» Bucharest, 2018.
- [10] Á. M. Rodríguez, «EventYou: Aplicación móvil con Flutter y FlutterFire,» Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, 2020.
- [11] F. J. Q.-L. M. O.-L. S.-R. V. G.-L. a. J. J. L.-R. Sergio Gil-Lebrero, «Honey Bee Colonies Remote Monitoring System,» 2016.
- [12] U. Filaments, «Farnell,» Ultimaker filaments, 28 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/2310522.pdf>.
- [13] Y.-H. J. H.-L. & W. J.-C. Sun, «Multilevel Peukert equations based residual capacity estimation method for lead-acid battery. 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies ,» de *Sun, Y.-H., Jou, H.-L., & Wu, J.-C. (2008)*.

Multilevel Peukert equations based residual capacity estimation method for leadacid battery. 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, 2008.

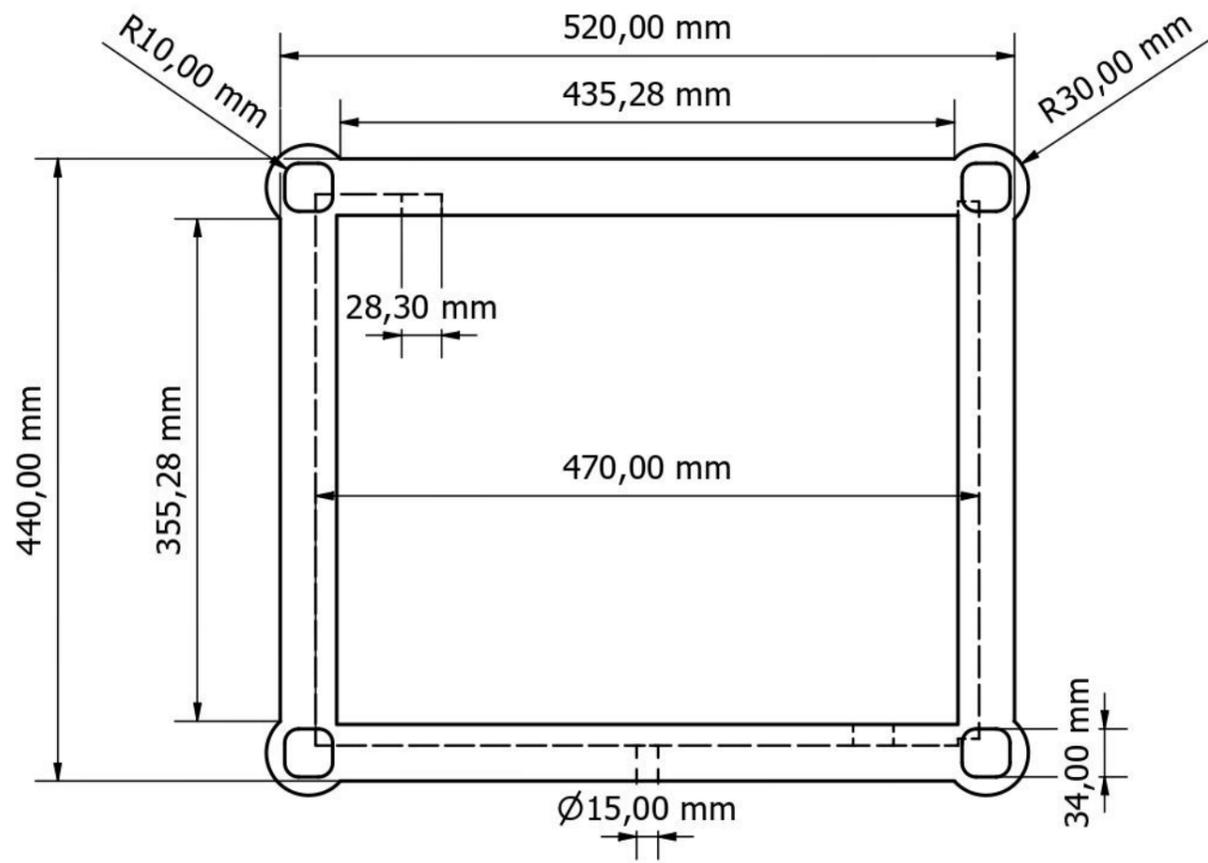
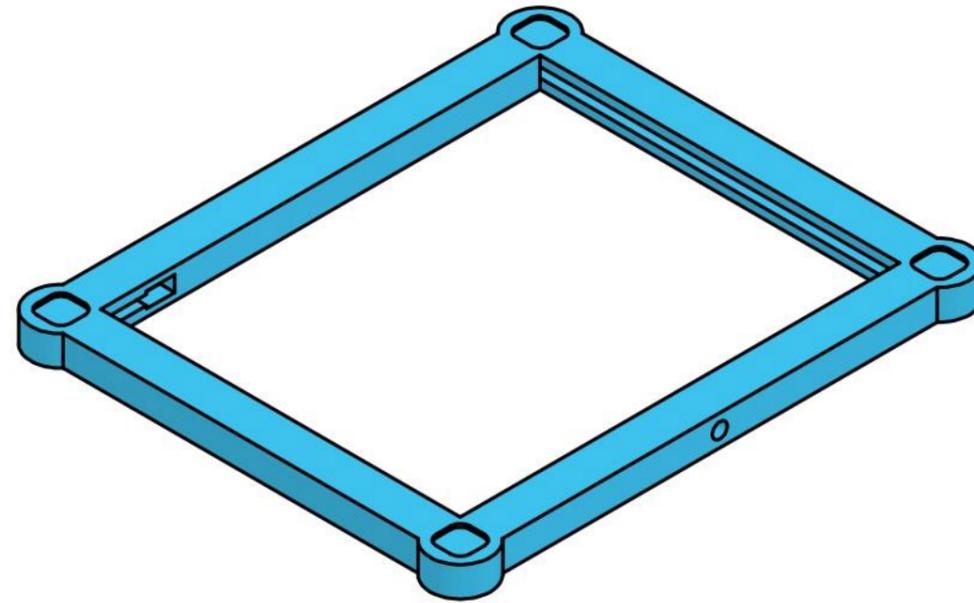
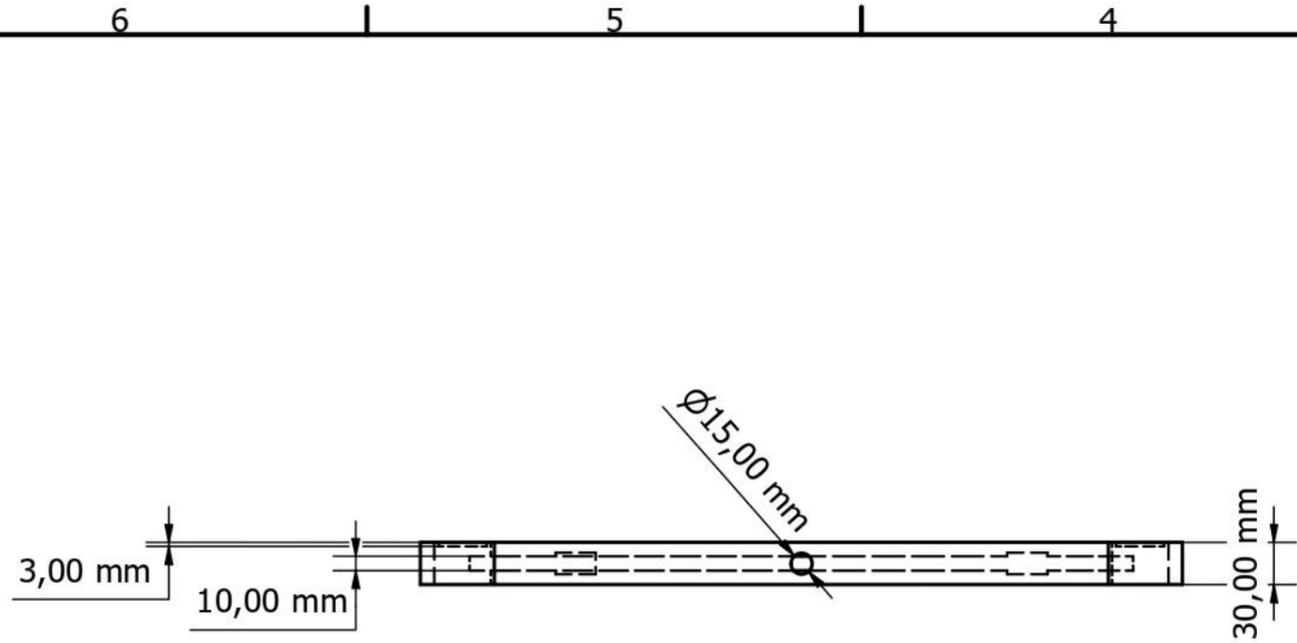
[14] P. P. sonic, «power-sonic,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.powersonic.com/wp-content/uploads/2018/12/Technical-Manual.pdf>.

APÉNDICES

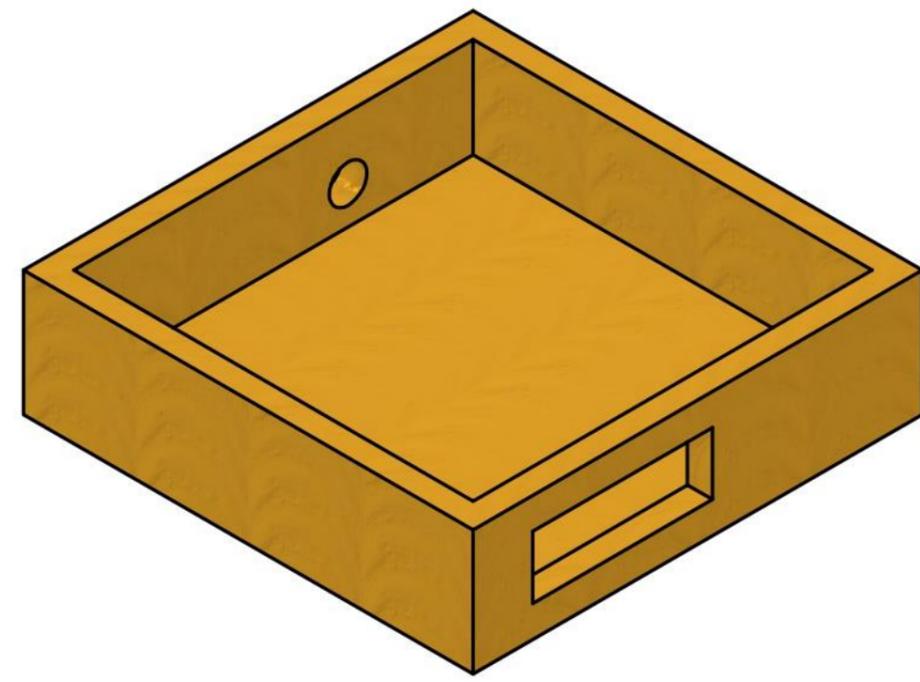
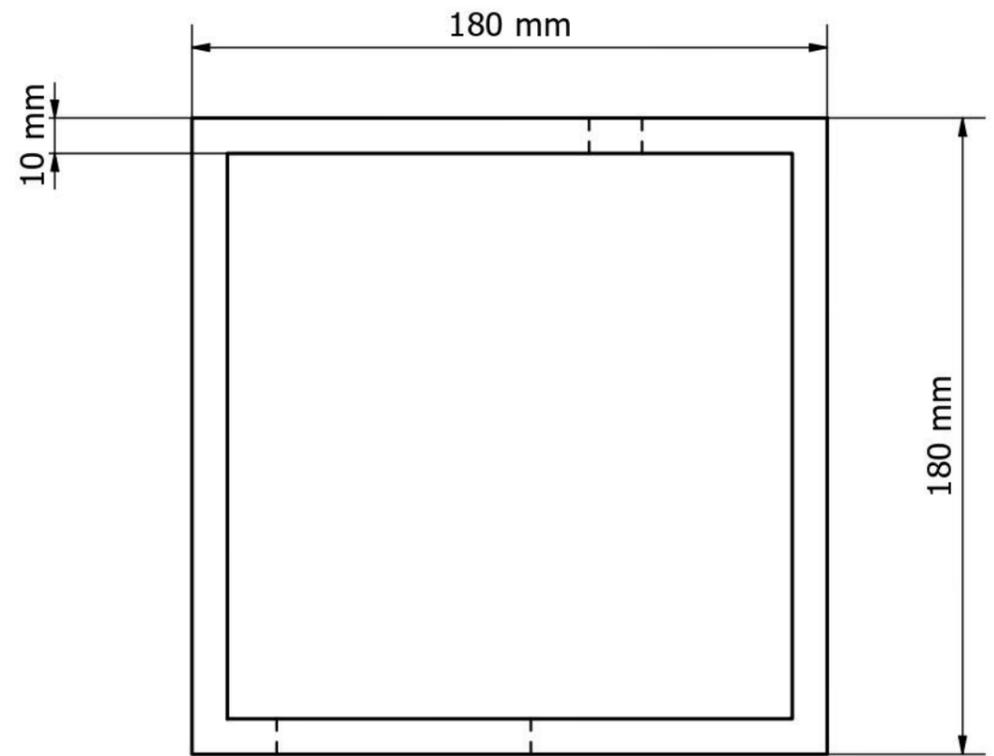
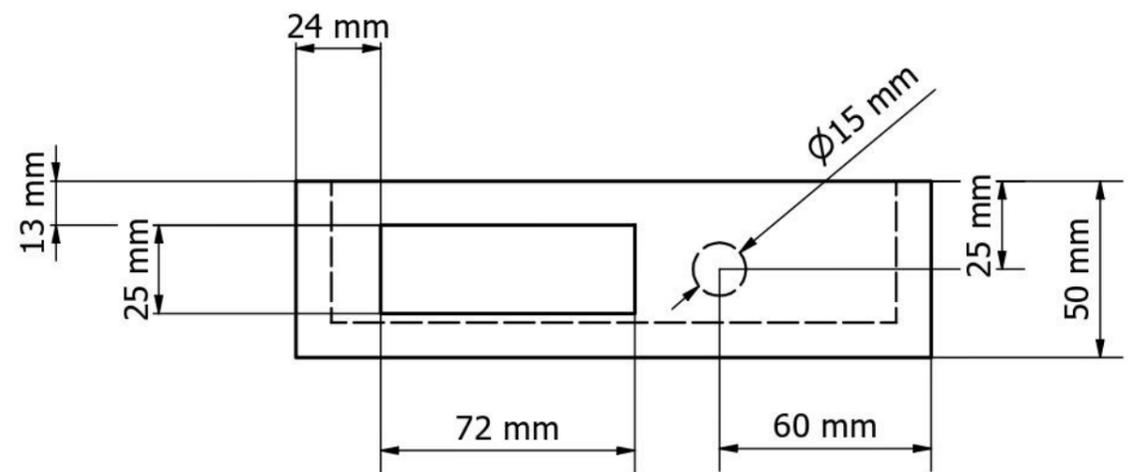
APÉNDICE A
PLANOS MECÁNICOS



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	base prototipo	
2	1	Sensor DHT22	
3	4	Celda de carga de 50 kg	
Diseño de Gustavo Sabando	Revisado por	Aprobado por	Fecha 15/2/2022
ESPOL		Ensamble prototipo	
		Edición	Hoja 1 / 1

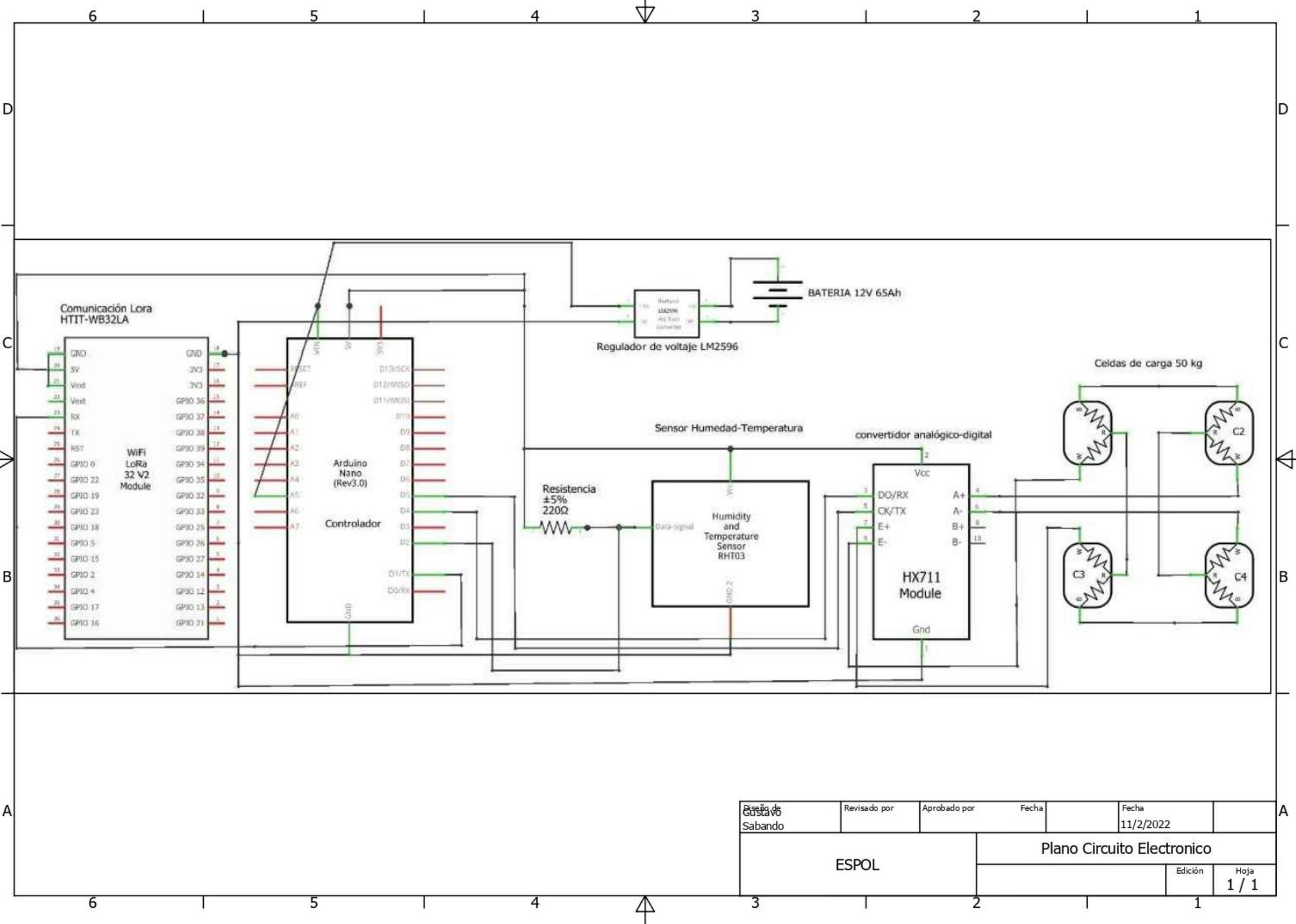


Diseño de Gustavo Sabando	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 11/2/2022	
ESPOL			Plano marco prototipo		
			baseProto	Edición 1	Hoja 1 / 1



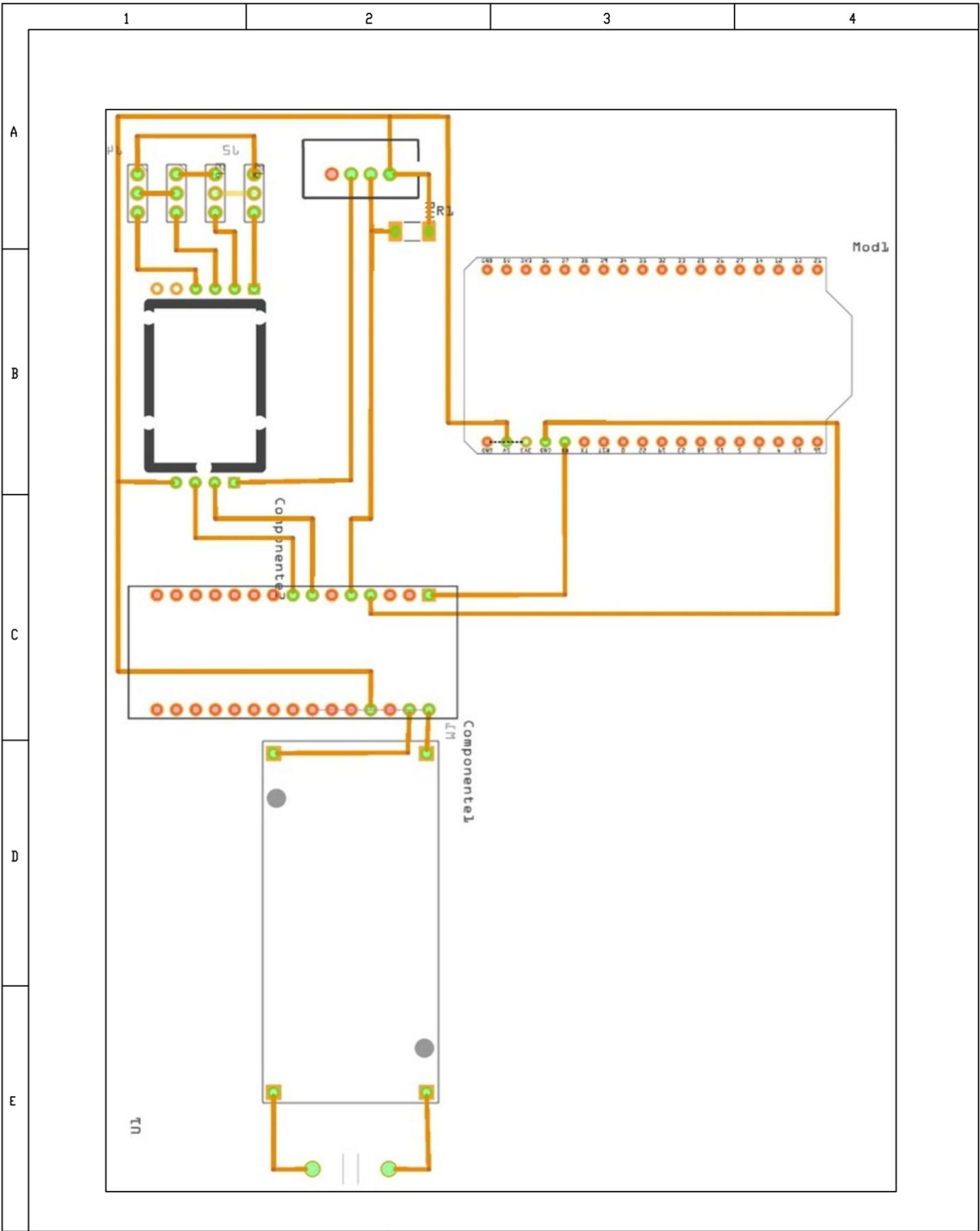
Diseño de Gustavo Sabando	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 11/2/2022	
ESPOL		Caja de control			
caja de control			Edición	Hoja 1 / 1	

APÉNDICE B
PLANO ELÉCTRICO



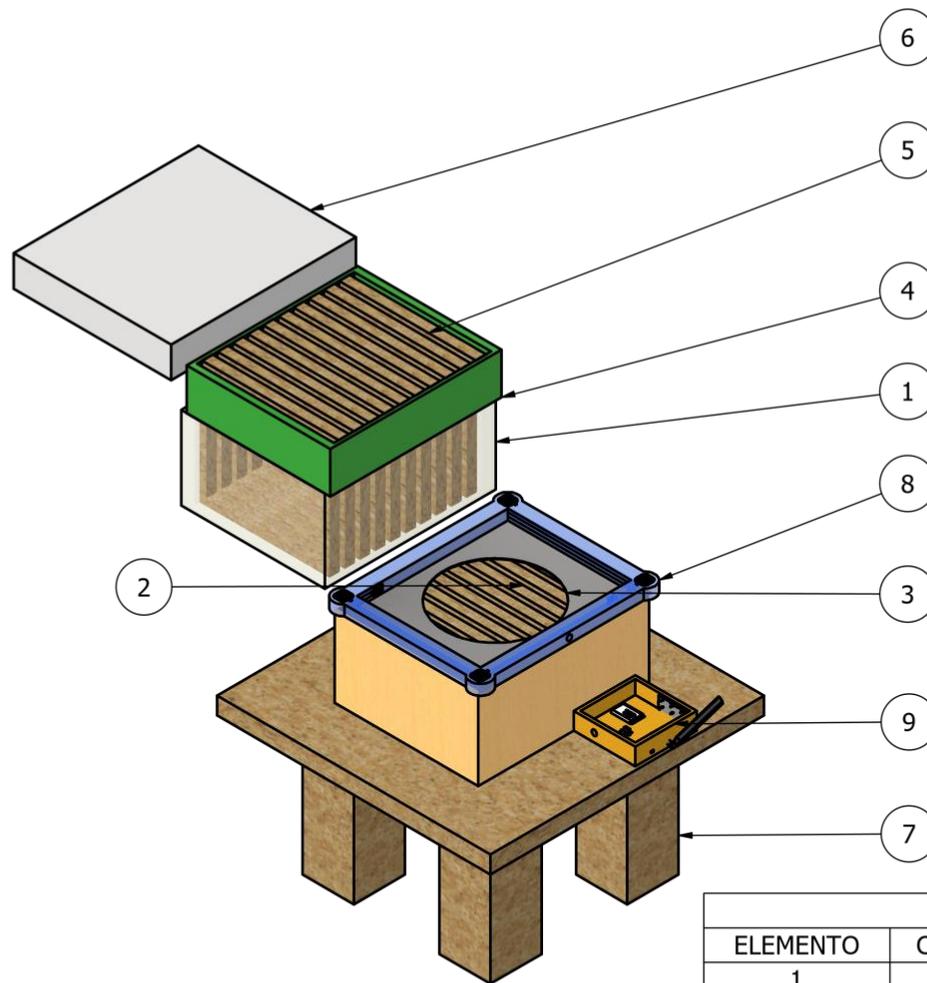
Diseño de Gustavo Sabando	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 11/2/2022
ESPOL			Plano Circuito Electronico	
			Edición	Hoja 1 / 1

APÉNDICE C
PLANO PLACA PCB



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTIGUO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: 0.02 ANGULAR: 0.02	PESO	MATERIALES	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN Placa PCB	ESCALA
			DIB.	11/02/22	LD & GS		1:1
			REV.	-/-			
			APROB.	-/-			
						NÚMERO DEL DIBUJO	
						001	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	

APÉNDICE D
PLANO LISTA DE PIEZA



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	cámara de cria y miel	
2	20	marco	
3	1	lámina separadora	
4	1	cámara de miel pequeña	
5	10	marco pequeño	
6	1	tapa	
7	1	mesa	
8	1	Prototipo	
9	1	Caja de control	
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha
Gustavo Sabando			11/2/2022
ESPOL		Edición	
		Hoja	
		1 / 1	

