

**Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)**

**ESIT**

**Máster Universitario en Industria 4.0**

# Telemonitorización de una colmena para una correcta explotación apícola basados en IoT

**Trabajo Fin de Máster**

**presentado por:** Mazón-Flores, Edison

**Director/a:** Peralta Martín-Palomino, Arturo

## Resumen

El uso de las tecnologías relacionadas a la Industria 4.0 aplicadas en la apicultura en el Ecuador han sido muy deficientes, en la actualidad la explotación apícola se lo realiza de forma manual. Es por ello que se implementó la monitorización de una colmena basada en un entorno IoT en la Finca Experimental “La María” en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en la provincia de Los Ríos en la ciudad Quevedo. Consta de un sensor (DHT-22), el cual toma la temperatura y humedad de la colmena y una celda de carga que permite tomar datos del peso de la colmena controlados por un microcontrolador (Raspberry), el cual se encarga de gestionar el envío de los datos hacia la plataforma IoT (Aws IoT Amazon) e ingresarlos a una base de datos. El protocolo de comunicación usado para el envío de datos fue MQTT, el cual la plataforma lo soporta. Se visualizó los datos mediante un dashboard. De las pruebas realizadas no hubo pérdidas en la información y la llegada de los datos fue completa. Se concluye satisfactoriamente la realización de la monitorización de una colmena con una plataforma IoT de Amazon.

**Palabras clave:** Aws IoT Amazon, Explotación apícola, Raspberry, Telemonitorización

## Abstract

The use of technologies related to Industry 4.0 applied to beekeeping in Ecuador has been very deficient, currently beekeeping is done manually. That is why we implemented the monitoring of a hive based on an IoT environment in the Experimental Farm "La Maria" at the State Technical University of Quevedo, in the province of Los Rios in the city of Quevedo. It consists of a sensor (DHT-22), which takes the temperature and humidity of the hive and a load cell that allows taking data from the weight of the hive controlled by a microcontroller (Raspberry), which is responsible for managing the sending of data to the IoT platform (Aws IoT Amazon) and enter them into a database. The communication protocol used for sending data was MQTT, which is supported by the platform. The data was visualized through a dashboard. From the tests carried out, there were no losses in the information and the arrival of the data was complete. The realization of the monitoring of a beehive with an Amazon IoT platform is satisfactorily concluded.

**Keywords:** Aws IoT Amazon, Beekeeping, Raspberry, Telemonitoring

## Índice de contenidos

1.	Introducción.....	9
1.1.	Motivación.....	9
1.2.	Planteamiento del trabajo.....	10
1.3.	Estructura de capítulos.....	11
2.	Contexto y estado del arte.....	12
2.1.	Descripción general del contexto del proyecto.....	12
2.2.	Proyectos relacionados con el tema del TFM.....	13
2.3.	Tecnologías relacionadas con el tema del TFM.....	16
2.4.	Conclusiones sobre el estado del arte.....	17
3.	Descripción general de la contribución del TFM.....	19
3.1.	Objetivos.....	19
3.2.	Metodología del trabajo.....	19
3.3.	Descripción general de las partes o componentes de la propuesta.....	20
4.	Desarrollo específico de la contribución.....	24
4.1.	La apicultura.....	24
4.1.1.	Los productos de la colmena.....	24
4.1.2.	Equipos de protección.....	25
4.1.3.	Diseño y ubicación de colmenas.....	26
4.1.4.	Técnicas de manejo de una colmena moderna.....	28
4.2.	Tarjetas de desarrollo.....	30
4.2.1.	Arduino Uno.....	30
4.2.2.	Arduino Nano.....	31
4.2.3.	Arduino Mega.....	32
4.2.4.	Arduino Leonardo.....	33
4.2.5.	Arduino 101.....	33
4.2.6.	Raspberry Pi 4B.....	34
4.3.	Tipos de conexiones inalámbricas.....	35

4.4.	Requerimientos del hardware y software del sistema .....	37
4.4.1.	Requerimientos de diseño del sistema .....	37
4.4.2.	Concepción de la arquitectura general del sistema.....	37
4.5.	Descripción de los elementos seleccionados .....	39
4.5.1.	Raspberry Pi 4B.....	39
4.5.2.	Sensor de temperatura y humedad (DHT-22) .....	39
4.5.3.	Celda de carga y Trasmisor de celda de carga HX711 .....	40
4.6.	Esquema de conexión de los elementos del sistema .....	42
4.7.	Diseño del software del sistema .....	43
4.7.1.	Requerimientos del software del sistema .....	43
4.7.2.	Flujograma del programa del sistema.....	44
4.8.	Validación del sistema .....	44
4.8.1.	Prueba de los sensores.....	44
4.8.2.	Pruebas de la plataforma de Aws IoT de Amazon .....	46
5.	Conclusiones y trabajos futuros.....	47
	Referencias bibliográficas .....	49
Anexo A.	Ficha técnica con las observaciones realizadas.....	53
Anexo B.	Datasheet Raspberry Pi 4B.....	54
Anexo C.	Datasheet DHT-22.....	55
Anexo D.	Datasheet Celda de carga.....	56
Anexo E.	Datasheet módulo HX711 .....	57

## Índice de figuras

Figura 1. Manejo de colmenas en el Ecuador. ....	9
Figura 2. Colmenas inteligentes.....	10
Figura 3 Dispositivos inteligentes equipados con tecnología IoT .....	12
Figura 4 Arquitectura de BeeAndme.....	13
Figura 5. Estados de salud de las abejas mediante la aplicación.....	14
Figura 6. Sensor de zumbido que va dentro de la colmena.....	14
Figura 7. Fases de la metodología de espiral.....	20
Figura 8. Arquitectura propuesta.....	21
Figura 9. Manejo apícola.....	24
Figura 10. Diferencias en la forma de vestir para trabajar con abejas africanizadas .....	26
Figura 11. Partes de una colmena Langstroth.....	26
Figura 12. Ubicación de colmenas.....	28
Figura 13. Verificación de la colmena.....	29
Figura 14. Dispersión de abejas mediante humo .....	30
Figura 15. Arduino Uno .....	31
Figura 16. Arduino Nano .....	31
Figura 17. Arduino Mega.....	32
Figura 18. Arduino Leonardo.....	33
Figura 19. Arduino 101.....	34
Figura 20. Raspberry Pi 4B.....	35
Figura 21. Clasificación de las redes inalámbricas .....	35
Figura 22. Arquitectura general del sistema .....	38
Figura 23. Raspberry Pi 4B.....	39
Figura 24. Sensor DHT-22 .....	40
Figura 25. Celda de carga de 50 Kg.....	41
Figura 26. Transmisor de celda de carga HX711 .....	41
Figura 27. Diagrama de conexiones .....	42

Figura 28. Flujograma del sistema implementado.....	44
Figura 29. Ejecución del código para tomar los valores del sensor DHT-22.....	45
Figura 30. Código empleado para tomar los valores de la celda de carga.....	45
Figura 31. Estadísticas de la Monitorización de Aws IoT.....	46

## Índice de tablas

Tabla 1. Presupuesto del proyecto de investigación .....	22
Tabla 2. Comparación entre diferentes tipos de redes inalámbricas .....	36

# 1. Introducción

## 1.1. Motivación

El desarrollo de la apicultura en el Ecuador se ha visto carecido por la falta de inversión del estado para promover este tipo de actividad, no ha existido inversión privada para desarrollar proyectos e investigaciones apícolas, la escasa dedicación por parte de los agricultores para desarrollar y promover este tipo de actividades y el aumento indiscriminado de la tala de árboles, son factores que han incidido a realizar este proyecto de investigación con la finalidad de promover una concientización e importancia a la apicultura (Vásconez, 2017).

En vista de que no se ha realizado ninguna investigación en el Ecuador que asocie la Apicultura con otras áreas del conocimiento que contribuyan al progreso de nuevas tecnologías en este ámbito y aplicando los conocimientos adquiridos en el máster en Industria 4.0 se propone esta investigación abarcando varias áreas de la tecnología, aportando a la comunidad científica los resultados para que puedan desarrollar otro tipo de investigaciones.

A raíz del virus Covid-19 que originó la pandemia y afectó a nivel mundial, la investigación que se propone es que la persona que este supervisando o a cargo de colmenas este en menos contacto con otras personas y que pueda realizar una Telemonitorización sin tener que estar de forma presencial en el lugar.



Figura 1. Manejo de colmenas en el Ecuador.

Fuente: (Revista Lideres, 2018).

## 1.2. Planteamiento del trabajo

Al tener las facilidades para acceder a la información de la colmena de forma remota se toman decisiones mucho más acertadas y eficientes sin tener que recorrer grandes distancias para llegar al lugar donde este ubicada la colmena, ahorrando tiempo y dinero. Se propone el desarrollo de una colmena inteligente que pueda medir magnitudes físicas esenciales para la correcta explotación apícola y esos datos obtenidos sean almacenados en la nube para luego ser interpretados por el especialista o supervisor de la colmena.

La Telemonitorización es muy importante en la investigación debido a que todos los datos obtenidos por los sensores son enviados a través de una red y controlados por un microprocesador, el cual interpreta la información de los sensores y los almacena en una base de datos para posteriormente ser visualizados de forma remota en algún otro sitio que tenga acceso a internet. Nos permite contractar información de la colmena sin estar presencialmente en ella para tomar las decisiones oportunas y exista una correcta explotación apícola.

En la investigación se miden tres variables físicas que son: temperatura, humedad y peso de la colmena, las más importantes para que se produzca miel de calidad. Otras de las tecnologías usadas en la investigación es el Internet de las cosas (IoT) que fue de gran utilidad para conectar la parte del procesamiento de la información con el Internet y se pueda realizar una visualización remota.

Con ayuda del proyecto realizado por T-Systems (T-Systems, 2020), el cual consta de una red de colmenas inteligentes se basará el proyecto de investigación, existiendo grandes diferencias por el medio en la que se van a desarrollar o por la finalidad de la investigación. Ya que en ella habla de monitorizar el comportamiento de las abejas al contrario de la investigación que se trata de mejorar las condiciones de la explotación apícola.



Figura 2. Colmenas inteligentes

Fuente: (T-Systems, 2020).

### 1.3. Estructura de capítulos

La investigación está estructurada en cinco capítulos divididos de la siguiente manera: el capítulo 1 es una corta introducción en el cual se describe la motivación que lleva realizar la investigación, el planteamiento del trabajo y cómo está conformados los capítulos. El capítulo 2 es el Contexto y estado del arte, se describe de forma general el contexto del proyecto, algunos proyectos relacionados con el TFM, las tecnologías relacionadas con el tema del TFM y para finalizar este capítulo las conclusiones que se llegó sobre el estado del arte. El capítulo 3 es la descripción general de la contribución del TFM, donde se explican los objetivos, metodología de trabajo y una descripción general de las partes o componentes de la propuesta. En el capítulo 4, al inicio se detalla brevemente temas relevantes de la apicultura, seguido de la elección de la tarjeta de desarrollo para la implementación, la elección del tipo de comunicación que va a poseer el proyecto, el tipo de sensores de acuerdo a las variables que se pretende medir, la elaboración de la base de datos con el respectivo análisis. Seguido de las exigencias que contiene los requerimientos del hardware y software del sistema, una breve descripción de los elementos seleccionados, un esquema de conexiones de los elementos del sistema y para finalizar el diseño del software del sistema y para finalizar el capítulo se muestra la validación del sistema con las respectivas pruebas y resultados arrojados. Y finalmente el capítulo 5 son las conclusiones y trabajos futuros de la realización del TFM.

## 2. Contexto y estado del arte

### 2.1. Descripción general del contexto del proyecto

El proyecto consiste en tres fases: la fase uno es la fase de adquisición de los datos de campo, el cual el sensor DHT22 toma la temperatura y humedad dentro de la colmena y la celda de carga mide el peso de la colmena para obtener variaciones de peso. La segunda fase es el análisis de los datos obtenidos para luego ser almacenados en una base de datos y finalmente la tercera y última fase es la de visualización de los datos en Internet mediante un dashboard.

Los sensores están conectados a una tarjeta de desarrollo que supervisa y ejecute los comandos programados para la toma de las mediciones, luego estos datos se envían a una base de datos para luego aplicar métodos estadísticos que nos permitan entender la relación de los datos. Es muy importante que los datos pueden ser accedidos desde cualquier dispositivo inteligente que tenga acceso a internet y pueda monitorizar las condiciones de la colmena para tomar alguna acción si el caso lo requiere.

Se toma como referencia el proyecto que se desarrolla en España por T-Systems, es una red de colmenas inteligentes que comparten datos tomados desde la colmena hacia otras partes del espacio Europeo, la finalidad del proyecto es verificar como la contaminación, el ruido y la variación del cambio climático afecta al comportamiento de las abejas. A diferencia del proyecto mencionado es similar en la Telemonitorización, pero este proyecto mide variables físicas cuya finalidad es mejorar las condiciones ambientales para producir miel de mejor calidad, comparte tecnologías similares como el uso de sensores y la implementación de una red IoT (T-Systems, 2020).



Figura 3 Dispositivos inteligentes equipados con tecnología IoT

Fuente: (T-Systems, 2020).

## 2.2. Proyectos relacionados con el tema del TFM

La investigación desarrollada por BeeAndme, la cual es una plataforma IoT enlazada en la nube que precautela el bienestar de la colmena (Martínez, 2020), posee una estructura metálica que aloja varios dispositivos en su interior como micrófonos para registrar los sonidos que produce la abeja dentro de la colmena, básculas que permiten obtener el peso de la colmena, sensores de temperatura, humedad y vibración.



Figura 4 Arquitectura de BeeAndme

*Fuente: (Martínez, 2020).*

Al tener la problemática de la reducción de las abejas a nivel mundial, se desarrolló una solución, el cual consta de un monitoreo de colmenas en Alemania. Específicamente el proyecto identifica colmenas a distancias, emite mensajes de alerta móvil cuando detecta vulnerabilidades o daños en la estructura de la colmena, falta de alimento e indicar si el área en la que se encuentra no es la adecuada para la producción, incluso detectar si las abejas han abandonado su lugar.

Esta investigación publicada en SAP News Center Latinoamérica, podría ser utilizada por servicios meteorológicos para poder localizar colmenas que están bajo peligro y realizar acciones para poder mantener la seguridad e incluso evitar la muerte de las abejas (IT NOW, 2019).

El trabajo colaborativo uniendo la Inteligencia Artificial con el IoT para monitorizar la salud y evitar la extinción de las abejas, desde el año 2015, la empresa OSBeehives desarrolla software y hardware para la conservación de Apis melífera. Este software analiza los sonidos emitidos por el zumbido de las abejas, y las correlaciona con algoritmos de machine learning para detectar el estado de salud de las abejas.



Figura 5. Estados de salud de las abejas mediante la aplicación

Fuente: (Recuero, 2020).

Otra de las áreas de investigación es la captura de la información de la colmena mediante la colocación de sensores diseñados por la empresa OSBeehives llamados BuzzBox. Este sensor capta los sonidos emitidos por las abejas y mediante técnicas de inteligencia artificial analizan las grabaciones para identificar las amenazas como: uso de pesticidas, avispas cerca del lugar, enfermedades o algún tipo de microorganismo que posea la abeja que pueda desencadenar un colapso de la colonia (Recuero, 2020).



Figura 6. Sensor de zumbido que va dentro de la colmena

Fuente: (Recuero, 2020).

Otras de las investigaciones relacionadas con el TFM, es el Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo remoto de variables ambientales en la colmena de abejas *Apis Mellifera*. El trabajo de campo consiste en el monitoreo remoto tanto de la temperatura interna y externa, de la humedad interna y externa, luminosidad y velocidad del viento en una colmena para obtener información que sirva a los apicultores.

La investigación esta dividida en tres etapas: instrumentación electrónica, comunicación por radiofrecuencia y aplicación IoT. El envío de toda la información se lo realiza por radiofrecuencia a una aplicación IoT para analizar los datos, el proyecto se lo realizó en el municipio de Miraflores-Colombia (Buitrago *et al*, 2020).

En Brasil se desarrolló una investigación acerca de cómo las abejas controlan las variaciones térmicas (Kridi *et al.*, 2016) titulado: “Aplicación de redes de sensores inalámbricos para monitoreo de colmenas y detección de patrones térmicos dentro de la colmena”, la problemática principal es la fuga de la colmena, esto se debe a que no existe una correcta termorregulación. Mediante una red de sensores inalámbricos se detecta el calentamiento atípico, previamente se obtiene un patrón térmico que se obtuvo de la colmena analizada y mediante ella se detecta un aumento de temperatura que sirve para detectar posibles condiciones de fuga.

La creación de un módulo para monitorizar el estado general de una colmena artificial (Márquez *et al.*, 2012) fue presentado en Barranquilla, Colombia en el 4to Taller Colombiano de Circuitos y Sistemas (CWCAS) donde obtuvieron variables físicas que relacionan directamente la salud y producción de abejas, los eventos medidos se registraron en un archivo de texto que fueron mostrados en una pantalla LCD.

El presente trabajo de investigación titulado “Detección remota de enjambres de colonias de abejas melíferas mediante monitoreo de temperatura de un solo punto” (Zacepins *et al.*, 2016), el objetivo del trabajo fue la monitorización de las colonias de las abejas de forma remota que sirvió para identificar la dinámica de la temperatura y sus patrones para el descubrimiento de enjambres. Con la información recabada llegaron a la conclusión de que con un solo sensor de temperatura sobre el nido de abejas compuesto con un algoritmo se puede detectar automáticamente enjambres en la etapa de despegue.

### 2.3. Tecnologías relacionadas con el tema del TFM

Las tecnologías usadas por T-Systems (T-Systems, 2020) en su proyecto son las siguientes: sensores que recolectan y transmiten datos de peso de panal de la colmena, temperatura, humedad, nivel de llenado y sonidos ambientales que son enviados a una red internacional de equipos y sensores de Deutsche Telekom NarrowBand IoT (NB-IoT).

La empresa BeeAndme (Martínez, 2020) tiene una plataforma de IoT que utiliza tecnologías de Inteligencia Artificial para monitorizar la salud de las abejas, usa algoritmos de machine learning para detectar el estado de salud de las abejas. Además, usa sensores que captan los sonidos emitidos por las abejas para conocer su estado de salud.

En el trabajo de investigación titulado “Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo remoto de variables ambientales en la colmena de abejas *Apis Mellifera*” (Buitrago et al, 2020), hace uso de las tecnologías de comunicación inalámbricas para enviar los datos tomados desde los sensores.

En términos generales el Internet de las cosas (IoT) combinada con Cloud Computing son una herramienta fundamental para el desarrollo de un proyecto en el cual se requiera un ecosistema en la nube, con nuevas funciones y capacidades de procesar información (Biswas y Giaffreda, 2014).

Las tecnologías IoT no solo son usadas en el tema Apícola sino que tienen muchas aplicaciones en áreas que requieren su uso, en la parte ganadera se tienen los siguientes ejemplos:

- La avicultura está dentro de los principales negocios agrícolas. Una de las problemáticas que se puede identificar cuando se dedican a este tipo de actividades en las aves de corral es poder identificar enfermedades en su etapa inicial para evitar la propagación entre ellas. En esta investigación se propone un sistema compuesto que monitoriza las aves de corral e identifica las aves afectadas. El principal objetivo de esta investigación fue desarrollar un sistema IoT integrado y vinculado con un servidor para monitorizar las granjas avícolas y como trabajos futuros el autor propone desarrollar un sistema IoT, pero supervisado en tiempo real (Raj y Jayanthi, 2018).
- Las personas que poseen peces generalmente se encuentran preocupados por los ciclos de alimentación, debido a que no reciben el alimento en el tiempo oportuno. Al poseer demasiado alimento o poco alimento en la pecera pone en riesgo a la vida del animal, por lo tanto, es indispensable controlar el comedero de peces. El presente trabajo propuso diseñar un alimentador de peces usando un microcontrolador y una

aplicación web basad en Raspberry Pi (Binti *et al.*, 2017). Su objetivo principal fue erradicar el problema de los peces muertos debido al mal funcionamiento del alimentador, mediante la aplicación web, el usuario puede controlar el funcionamiento del comedero e incluso establecer horarios para su alimentación.

- En el proyecto de investigación de la máquina incubadora de huevos de pato utilizaron el sensor DHT22, el cual es capaz de detectar los cambios de temperatura y humedad (Farogi *et al.*, 2020), los cuales son fundamentales debido a que en el proceso de incubación del huevo de pato fluctúan entre el 70 y 75%.

El IoT usado en el control de residuos no orgánicos, se tiene el siguiente ejemplo:

- Para el sistema de básculas digitales para los tipos de desechos no orgánicos basado en celda de carga en conjunto usan el módulo HX711 para determinar el peso de los desechos, arrojando valores muy fiables para la investigación. El sistema de control proporciona información de las balanzas de residuos a partir de los resultados del pesaje de residuos no orgánicos realizados por el sistema de control (Atmajaya *et al.*, 2018).

IoT empleado en salvaguardar la integridad de las mujeres, se empleó el siguiente proyecto:

- Debido a estas atrocidades a las que están sometidas las mujeres en el escenario actual, se propone un wearable de seguridad inteligente para mujeres basado en Internet of Things. Se implementa en forma de anillo inteligente (SMARISA) y se compone de Raspberry Pi Zero, cámara Raspberry Pi, timbre y botón para activar los servicios. Este dispositivo es extremadamente portátil y puede ser activado por la víctima al ser asaltado con solo hacer clic en un botón que buscará su ubicación actual y también capturará la imagen del atacante a través de la cámara Raspberry Pi. (Sogi *et al.*, 2018)

## 2.4. Conclusiones sobre el estado del arte

Uno de los proyectos que se tiene mayor relación con el trabajo propuesto es BeeAndme (Martínez, 2020), el cual consta de un sistema muy completo, mide todas las variables posibles que se pueden tomar de una colmena como son el peso, temperatura interna de la colmena, humedad, localización, vibración, temperatura ambiente, además a esto posee un portal web donde los datos tomados pueden ser visualizados.

Muy similar a la línea de investigación que se requiere investigar es la de T-Systems (*T-Systems*, 2020), donde la finalidad del proyecto es erradicar la contaminación y ruido que

afectan a la explotación apícola, además donde sus datos están conectados a una red de sensores en el espacio Europeo.

Se ha comprobado que los elementos a ser empleados en la investigación han sido utilizados en otro tipo de investigaciones referentes a la apicultura y agricultura, donde se ha tenido óptimos resultados. Por ende, la novedad del proyecto que se implementará es la investigación es el comportamiento de las abejas en épocas invernales en el territorio de la costa Ecuatoriana tomando datos de la temperatura y humedad dentro de la colmena y llevándolo a una plataforma IoT, además investigar que nuevas plantaciones invernales, la abeja recurre en estas épocas para poder subsistir.

Las tecnologías de la Industria 4.0 empleadas en la realización de la investigación son: Big data, IoT, Sensores y protocolos de comunicación que se ha venido estudiando en el transcurso del máster y son aplicados para la resolución de un problema existente en la agricultura y que se lo realiza de forma automatizada.

Las tecnologías faltantes que podrían haberse incluido, pero por razones de alcance no han sido consideradas, y que podrán ser utilizadas para futuras investigaciones en el área de la apicultura son:

- Fabricación inteligente: la elaboración con su respectiva impresión de una colmena resistente a cambios bruscos de temperatura, utilizando la tecnología de impresión en 3D.
- Ciberseguridad Industrial: Estudiar las vulnerabilidades que posee el uso de sistema IoT enfocados en la Apicultura y cómo realizar sistemas de comunicación mucho más seguros para evitar daños en producciones apícolas.
- Inteligencia Artificial: Entrenar un modelo exitoso que correlacione los datos que se toman mediante los sensores y pueda predecir causas o problemáticas en un futuro y saber cómo solucionarlas en su debido tiempo previniendo daños y bajas rentabilidades.

Una vez realizado el estado del estado se concluye que la investigación realizada es necesaria e interesante ya que incluye algunas tecnologías empleadas en el uso del IoT y debido a la falta de investigaciones acerca del IoT en la apicultura, sirve de referencia para trabajos futuros en el Ecuador.

## 3. Descripción general de la contribución del TFM

### 3.1. Objetivos

#### **Objetivo general**

Implementar la monitorización de una colmena basada en un entorno IoT en la Finca Experimental “La María” en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en la provincia de Los Ríos en la ciudad Quevedo.

#### **Objetivos específicos**

- Estudiar los diferentes productos de las colmenas, equipos de protección, diseños y ubicación de las colmenas.
- Determinar los requerimientos que debe cumplir el proyecto de investigación.
- Seleccionar el hardware y software que permita implementar el diseño del trabajo de campo.
- Evaluar si el sistema implementado cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación.

### 3.2. Metodología del trabajo

La metodología que se empleará es la espiral, la razón de la elección radica en las fases que consta cada ciclo es acorde al trabajo investigativo. La primera fase es la de Planificación en donde se hace un estudio de la problemática propuesta seguido de una revisión de literatura, para luego identificar las posibles soluciones. La segunda fase es la de Análisis de riesgo, en esta fase se toma en cuenta las vulnerabilidades que puede tener el trabajo investigativo, contratiempos o eventualidades que transcurra en el lapso de tiempo de la investigación. La implementación como tercera fase, en donde el prototipo entra en funcionamiento para validar todos sus elementos y verificar que funcionen a la perfección y como última fase está la de Evaluación, en ella se verifica los datos arrojados por el sistema y se los corrobora con otros datos y ver si hay lógica en ellos.

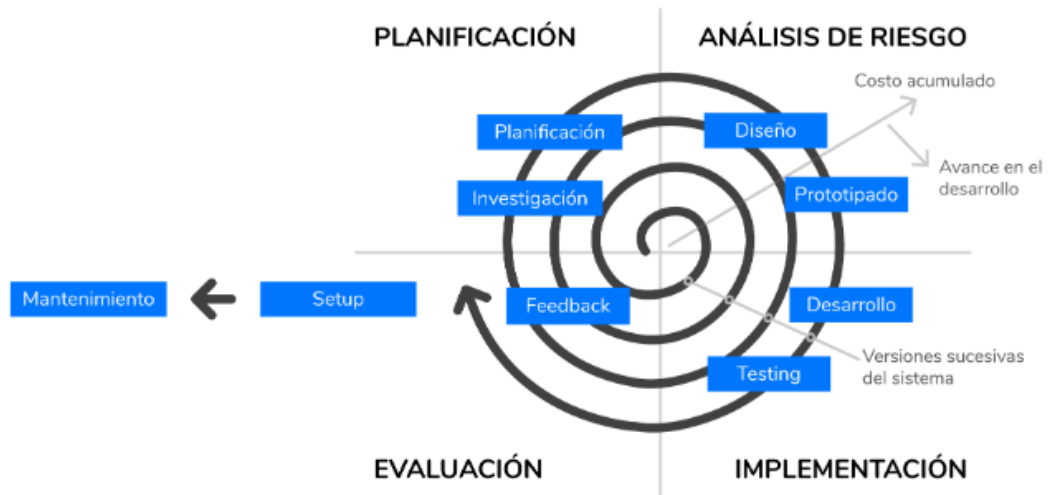


Figura 7. Fases de la metodología de espiral

Fuente: (ASPgems ,2019)

### 3.3. Descripción general de las partes o componentes de la propuesta

El presente trabajo de investigación monitorizará la colmena ubicada en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, tomando datos de los sensores de temperatura, humedad y el peso de la colmena. Con la tecnología IoT se mostrarán los resultados en la nube en una página web.

Adicionalmente, se observará el comportamiento de la abeja en la época invernal para verificar si cambian su temperatura interna, humedad interna y peso de la colmena. Se creará una base de datos con los datos obtenidos que servirá para estudios futuros. Se verificará cual es la planta invernal de preferencia por la abeja.

#### **Alcance y limitaciones**

La investigación se desarrollará dentro de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo con una sola colmena y la especie de abejas utilizadas será la apis melipona, debido a que esta especie de abejas no tienen aguijón y son más manejables en comparación con otro tipo de abejas.

#### **Listado de participantes**

Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ).

Ing. Zoot. Edison Mazón Paredes, Msc. Docente e investigador de la UTEQ.

Ing. Pedro Cedeño, Ph.D. Docente e investigador de la Universidad de Babahoyo (UTB).

### Tecnologías implicadas

- Internet de las cosas (IoT)
- Big data
- Sensores

### Arquitectura, componentes e integración de tecnologías.

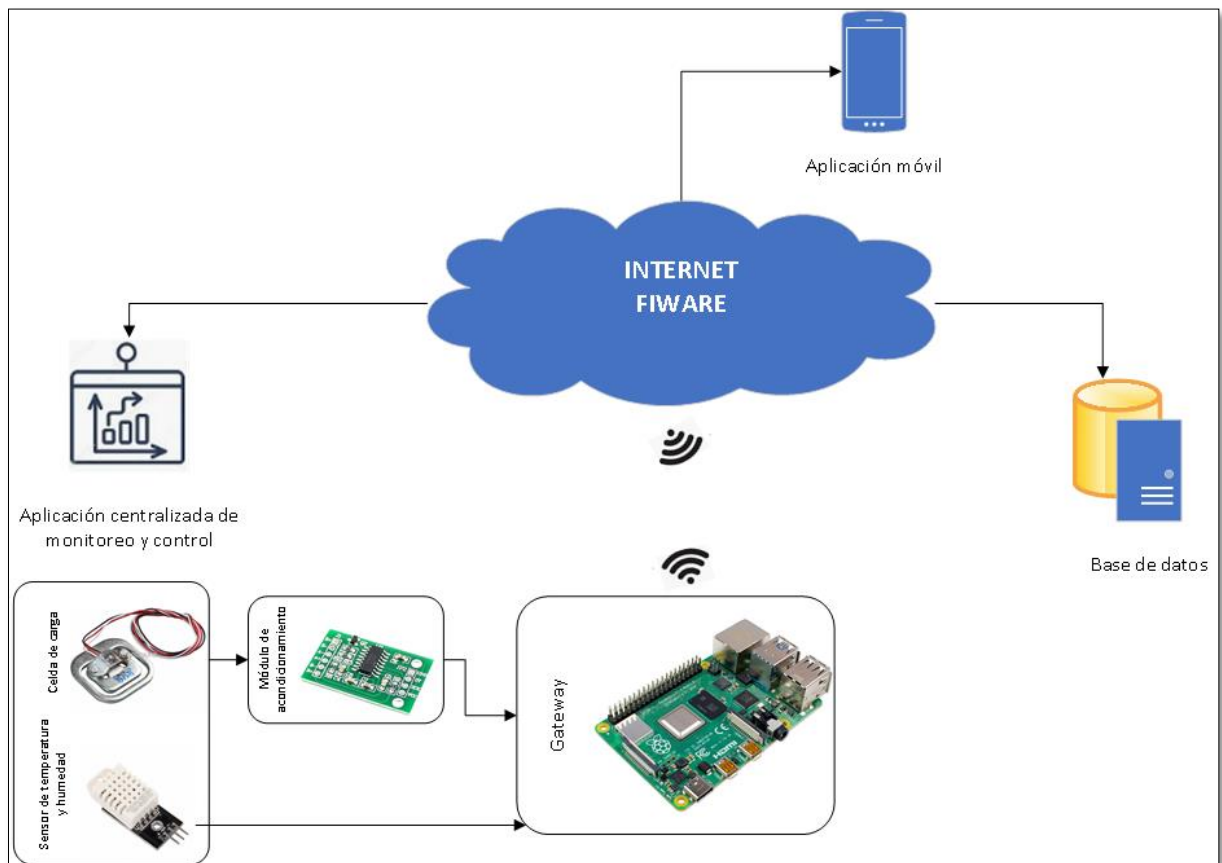


Figura 8. Arquitectura propuesta

Fuente: (Mazón, 2021)

Como se observa en la figura 8, el sensor DHT-22 envía los datos de temperatura y humedad al controlador que es una Raspberry mediante cableado y a su vez la celda de carga mide el peso de la colmena de forma analógica y para pasar la información digitalizada y pueda ser recibida por el microcontrolador pasa por una etapa de procesado que es un módulo HX711 transmisor de la celda de carga.

Una vez que los datos estén almacenados en la memoria del controlador es enviada por WiFi a un router, donde la información es recogida por la plataforma IoT implementada. Se redunda los datos de los sensores para tener un respaldo y para realizar un análisis de los datos.

La información es procesada y enviada a un dashboard para monitorizar las condiciones a las que están expuesta la colmena de forma remota y mediante la aplicación móvil se recibe mensajes de alerta cuando el sistema detecte alguna anomalía en los valores medidos.

### Resultados esperados

Se pretende que la Universidad Técnica Estatal de Quevedo adquiera todos los equipos y sean capacitados en el manejo de las plataformas IoT para investigaciones referentes a la apicultura. Además, esta investigación sea publicada en alguna revista científica por su contenido.

### Presupuesto y retorno esperado de la inversión

El presupuesto propuesto consta de valores reales cotizados en el mercado ecuatoriano con la moneda local Dólares Americanos (\$), se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Presupuesto del proyecto de investigación

Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor total
1	Raspberry Pi 4	150.00	150.00
1	Sensor de temperatura y humedad DHT22	6.95	6.95
1	Celda de carga y módulo de acondicionamiento	9.50	9.50
1	Caja estándar para la colmena	13.00	13.00
1	Tapa para caja de la colmena	11.00	11.00
1	Entretapa de la caja de la colmena	7.00	7.00
1	Base para la caja de la colmena	11.00	11.00
10	Marco grande con cera	3.00	30.00
1	Traje para apicultor	65.00	65.00
		Total	\$ 303.45

El retorno de la inversión se la recuperará mediante la venta de todos los equipos, capacitación para el manejo de los equipos y de ser el caso el mantenimiento o configuración de los equipos cuando este lo amerite.

$$303.45 + 200 + 100 = \$ 653.45 \text{ (valor de las ganancias)}$$

Para aplicar el retorno de la inversión (ROI) se aplica la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Valor de las ganancias} - \text{valor de la inversión}}{\text{valor de la inversión}} \times 100$$

$$ROI = \frac{653.45 - 303.45}{303.45} \times 100$$

$$ROI = 115.34 \%$$

### **Planificación general**

A continuación, se detallan a breves rasgos las fases de la metodología en espiral:

- Planificación. – inició el 30 de junio de 2020 y finalizó el 6 de octubre de 2020. Con una duración de 98 días.
- Análisis de riesgos. – inició el 7 de octubre de 2020 y finalizó el 31 de diciembre de 2020. Tuvo una duración de 85 días.
- Implementación. – inició el 1 de enero de 2021 y finalizó el 24 de enero de 2021. Tuvo una duración de 23 días.
- Evaluación. - inició el 25 de enero de 2021 y finalizó el 2 de febrero de 2021. Tuvo una duración de 8 días.

## 4. Desarrollo específico de la contribución

### 4.1. La apicultura

La apicultura es una de las varias especialidades que posee la zootecnia, se dedican a la cría de abejas, que representa una fuente de ingresos por los productos que se originan de ellos y su explotación puede ser tanto artesanal como industrial. Su principal producto es la miel (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2005).



Figura 9. Manejo apícola

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, 2017)

#### 4.1.1. Los productos de la colmena

Todos los productos apícolas tienen un efecto económico, nutricional y medicinal en los seres humanos. (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001). Los productos enumerados a continuación son:

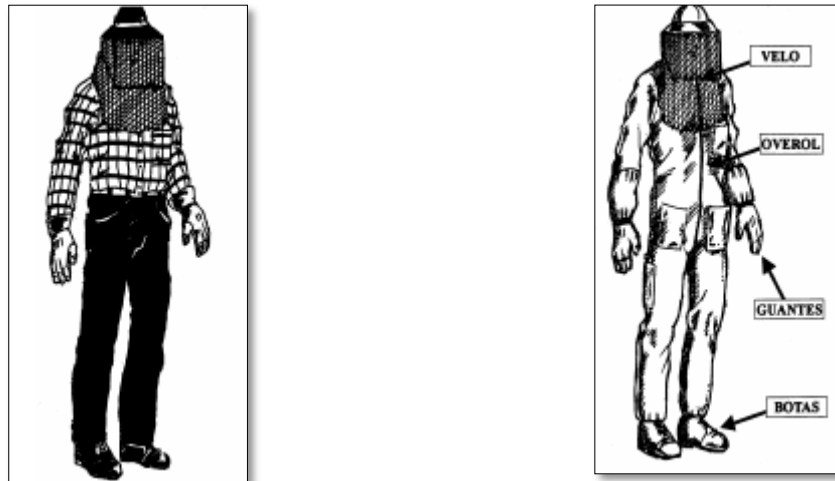
- Miel. – es un líquido de gran espesor azucarado que originan las abejas a partir del néctar que lo obtienen de las flores. Es su principal fuente de energía y su alimento básico, por su gran cantidad de azúcares es una gran fuente de calorías.
- Cera. – se obtiene a través de las glándulas cereras de las abejas, se utiliza para la construcción de los panales, en el cuál la reina deposita sus huevos y también las abejas almacenan miel y polen. Para producir un 1 kg de cera es necesario que la abeja haya consumido de 6 a 7kg de miel, el uso de la cera se utiliza para hacer velas, aceites y artesanías en general.
- Jalea real. – es una sustancia que las abejas la producen desde su cuarto hasta su doceavo día de edad, se utiliza para alimentar a las larvas durante sus primeros 3 días de vida y a la reina toda su vida. Para la elaboración de esta sustancia es necesario polen, miel y agua, las cuales son generadas por la glándula hipofaríngeas.
- Propóleo. – es una sustancia que las abejas recogen del tronco de los árboles. Mediante el propóleo mantienen el calor y la higiene dentro de la colmena.

- Polen. – es el elemento masculino de la flor, se utiliza para el crecimiento y la reproducción colonial.
- Veneno. – es desarrollado dentro de su organismo por las abejas obreras y lo utilizan como arma de defensa frente a amenazas que atente contra su colonia.
- Polinización. – consiste en el envío de los granos de polen de una flor a otra. El polinizador de mayor importancia lo atribuyen a las abejas.

#### **4.1.2. Equipos de protección**

El equipo de protección del apicultor es de vital importancia cuando se trata de trabajar con abejas y incluso mayor en el tipo de abejas africanizadas, que son muy defensivas. Las abejas protegen su colonia y al verse vulnerables por la presencia humana tienden a picar. Para prevenir este tipo de incidentes, los apicultores deben usar protección al momento del manejo de las colmenas (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001). Se mencionarán las siguientes:

- Velo. – protege la cabeza y el rostro del apicultor, consta de una máscara negra contra los mosquitos, que permite ver contra el reflejo del sol. Se fabrican de diferentes materiales como el hilo cáñamo y en la parte inferior posee una jareta que permite ajustarlo al cuerpo.
- Overol. – es una prenda de vestir de una sola pieza, generalmente es de color blanco ya que no les molesta a las abejas. Se deben fabricar de algodón ya que los olores no quedan impregnados en la prenda de vestir, lo que causará que la abeja no se irrite.
- Guantes. – deben ser de cuero, lisos y suaves. Se utilizan para proteger las manos y su higiene debe ser frecuente.
- Botas o zapatos altos. – Es indispensable cubrir esta parte del cuerpo con botas o zapatos altos ya que las abejas pueden llegar a picar en este lugar.



(a) Uso incorrecto de vestimenta

(b) Uso correcto de vestimenta

Figura 10. Diferencias en la forma de vestir para trabajar con abejas africanizadas

Fuente: (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001)

#### 4.1.3. Diseño y ubicación de colmenas

El diseño de la colmena en el ámbito internacional es la colmena Langstroth, el cual consta de las siguientes partes:

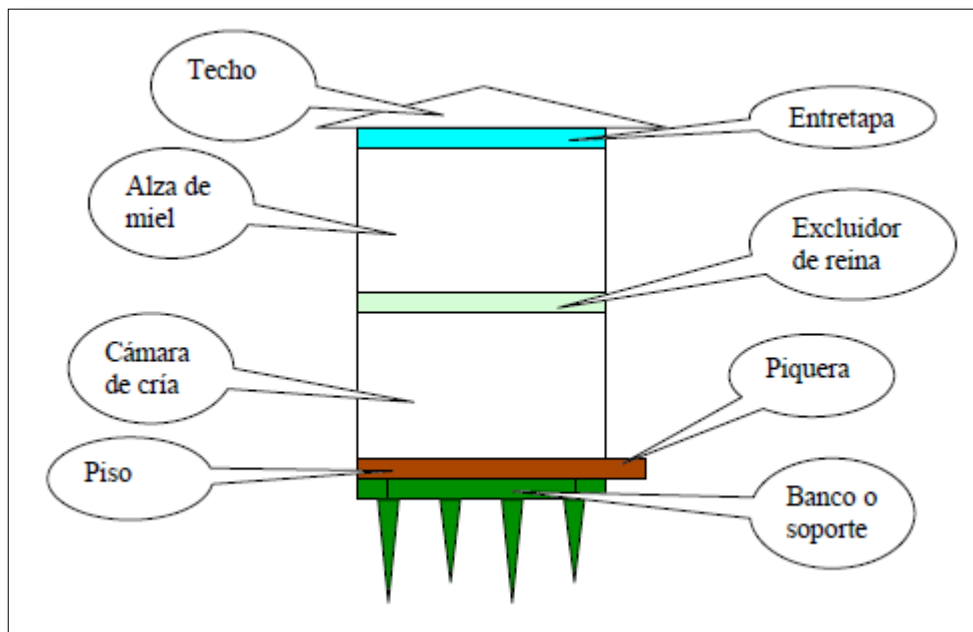


Figura 11. Partes de una colmena Langstroth

Fuente: (Secretaria de Agricultura y Ganadería, 2005)

Base, puente o piso: sirve de base para el cuerpo de la colmena, recomiendan cubrirlo de aceite quemado para el control de plagas.

Cámara de cría: se la coloca arriba de la base y en ella se aloja la cría y reina.

Excluidor de reina: está situada arriba de la cámara de cría, su función es evitar que la reina suba al compartimento de arriba donde se encuentra el alza de producción para que pueda ovopositar.

Cámara o alza para miel: suelen ser individual o dos cámaras colocadas arriba de la cámara de cría, incluyen 10 marcos cada una.

Piquera: es el principal acceso de las abejas a la colmena, forma una rampa que sirve como una pista de aterrizaje y sobresale de la colmena.

Cuadros, marcos o bastidores: están dentro de la cámara de miel, las abejas construyen los panales y deben ser móviles e independientes.

Entretapa: es un revestimiento aislado que se coloca en la última alza y puede ser de plástico.

Tapa: es la cubierta de la colmena y por lo general es una lámina de zinc que sirve para proteger de la lluvia.

Se tienen en cuenta dos factores para la ubicación de la colmena, la comodidad de las abejas y el bienestar del apicultor, pero las dos dependen de la raza de las abejas a explotar (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2005), el cual se explica a continuación:

- Fácil acceso: como consecuencia del movimiento de entrada y salida de las cajas ya sea que estén llenas o vacías, se recomienda un lugar donde pueda ingresar el vehículo.
- Ubicación de apiarios: se los debe ubicar a 200 m de casas, caminos o carreteras evitando futuros ataques de las abejas a humanos o animales.
- Abundancia de flora: para las abejas las plantas cumplen un rol muy importante para obtener el néctar y así producir la miel y polen que servirá de alimento a las larvas, el uso de resina que se convierte en propóleo para cerrar grietas o fisuras de la colmena. Las plantas del entorno que se encuentran en el apiario deben ser melíferas y conocer las fechas que entran a floración.
- Fuente de agua: las abejas necesitan mucha agua limpia, la utilizan para regular la temperatura interna de la colmena en verano y para su propio consumo. Necesitan alrededor de 1 a 2 botellas diarias para poder subsistir.
- Terreno: el terreno debe poseer una ligera pendiente, con una baja humedad y vientos fuertes.

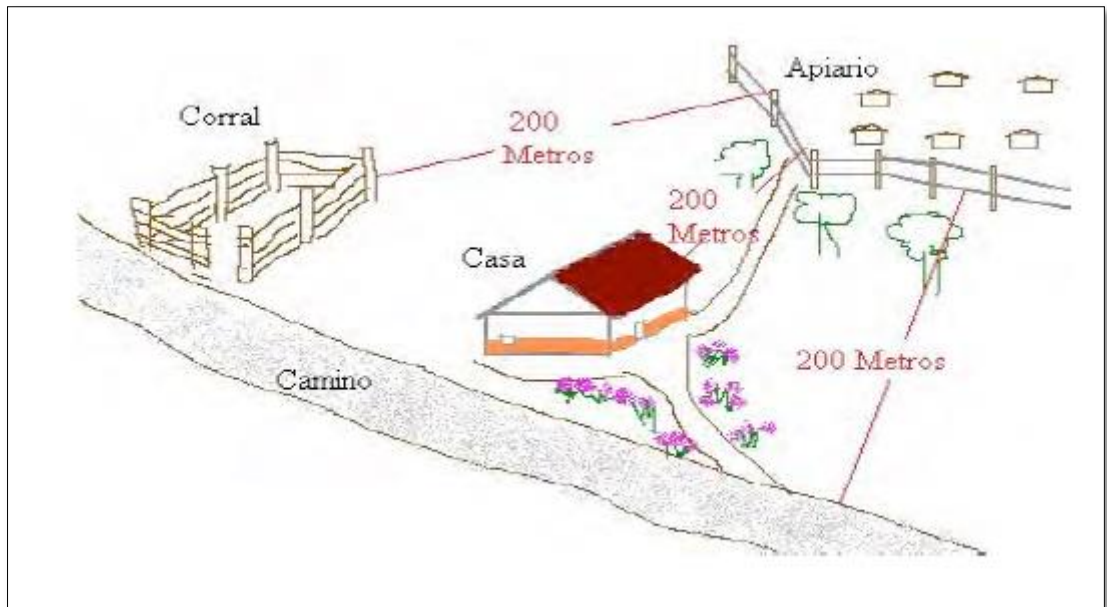


Figura 12. Ubicación de colmenas

Fuente: (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2005)

#### 4.1.4. Técnicas de manejo de una colmena moderna

Para verificar una colmena, se debe encontrar un motivo que amerite destaparla para comprobar el estado de la colonia y complacer sus necesidades (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001). Con el tiempo y la destreza necesaria el apicultor podrá comprobar mediante la observación lo siguiente:

- Presencia de la reina.
- Calidad y apariencia de la reina.
- Probabilidad para reemplazar a la reina.
- Enfermedades de la cría y abejas.
- Estimación de recursos (miel y polen).
- Insuficiencia de alimentación y curación.
- Falta de espacio en la cámara de cría y ausencia de alzas.
- Peligro de enjambrazón.
- Posibilidad de cosecha de miel.

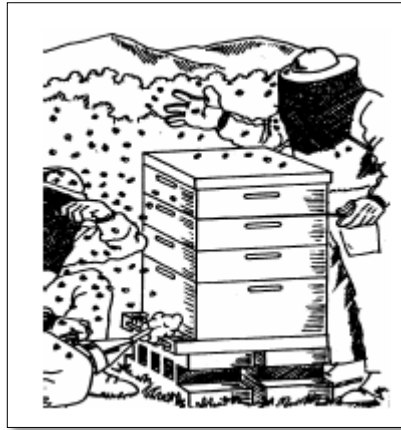


Figura 13. Verificación de la colmena

Fuente: (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001)

Para revisar la colmena, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe arrojar entre tres a cuatro veces humo a la piquera para que las abejas no se alteren demasiado.
2. Luego se quita el techo y se lo coloca en el suelo hacia arriba para ubicar las alzas en forma esquinada.
3. Se levanta la tapa con cuidado con soporte de la cuña y se debe colocar humo por el orificio abierto hasta levantarlo en su totalidad, se coloca al lado de la colmena en el suelo hacia arriba.
4. El paso tres se va repitiendo tantas veces sea el número de alzas de la colmena.
5. En el caso de que las abejas estén agresivas, para evitar ataques se cubrirán las alzas con la tapa. Y se procede a la revisión de la cámara de cría de la siguiente manera:
6. Se procede con la revisión básica para atender las necesidades básicas de tenga la colmena como curación, cambio de bastidor, sustracción de reina, etc.
7. Una vez que se encuentre revisada la cámara de cría y reubicados los bastidores, se procede a colocar las alzas arrojando humo para no aplastar a las abejas.
8. Se agita la tapa para mover a las abejas que se encuentren en ella y se procede a colocar en su lugar.
9. Se sacude la piquera y se la coloca en su respectivo sitio en la colmena.
10. Al finalizar el proceso es indispensable llenar una ficha técnica con las observaciones realizadas. Ver Anexo A.

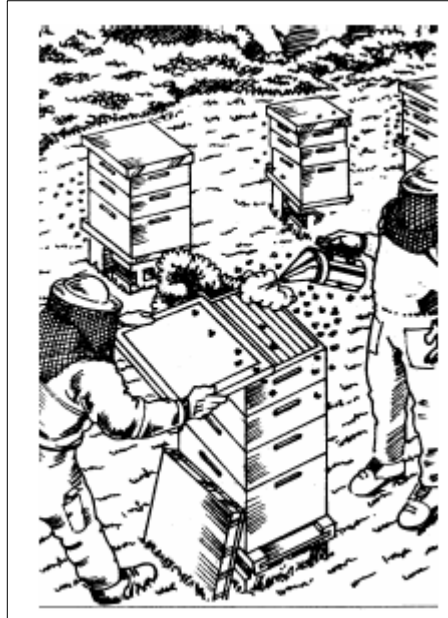


Figura 14. Dispersión de abejas mediante humo

Fuente: (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2001)

## 4.2. Tarjetas de desarrollo

Los dispositivos tecnológicos que pueden funcionar como el cerebro y son útiles para enviar y recibir señales derivadas de los sensores y que son utilizados por la primera de las siete capas que conforman el sistema del Internet de las cosas, son los microcontrolares (Serrotho, 2019) y se mostrarán algunas opciones:

### 4.2.1. Arduino Uno

Entre las características principales se destacan las siguientes:

- Modelo del Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje de operación: 5 V.
- Voltaje de entrada: 7-12 V.
- Número de entradas y salidas digitales: 14 de las cuales 6 salidas son PWM.
- Número de entradas análogas: 6.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.



Figura 15. Arduino Uno

Fuente: (Serrotho, 2019).

Es una tarjeta de desarrollo de código abierto diseñado por Arduino modelo Uno, es muy útil en aplicaciones que no requieran uso de internet, en caso de requerirlo se debe adquirir otro módulo complementario para obtener esta función. El grado de protección es bajo para colocarlo en ambientes hostiles. Posee una cantidad limitada de pines por lo que la hace poco escalable. No posee puertos para poder expandir su memoria. En conclusión, esta tarjeta de desarrollo sirve para proyectos con una cantidad limitado de entradas o salidas (Jadiaz, 2016).

#### 4.2.2. Arduino Nano

Se destacan por las siguientes particularidades:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de trabajo: 5 V.
- Voltaje de alimentación: 7-12 V.
- I/O digitales: 14 (6 son PWM).
- Frecuencia de trabajo: 16 MHz.



Figura 16. Arduino Nano

Fuente: (Serrotho, 2019).

Desarrollado por Arduino modelo Nano, es un circuito integrado programable de software libre ideal para personas que estén incursionando en la electrónica y control automático debido a que dispone de espadines que se acoplan al protoboard y facilita las conexiones. Muy similar al Arduino Uno, su diferencia radica en el tamaño. En comparación con otros microcontroladores, tiene un número reducido de pines. Se concluye que este microcontrolador es ideal para proyectos con fines educativos (Isaac, 2021).

#### 4.2.3. Arduino Mega

Posee las siguientes características:

- Microcontrolador: ATmega2560.
- Voltaje de salida de los pines: 5 V.
- Tensión de entrada o alimentación: 7-12 V.
- Número de I/O digitales: 54 (15 son PWM).
- Pines análogos: 16.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.



Figura 17. Arduino Mega

Fuente: (Serrotho, 2019).

Fabricado por Arduino modelo Mega, es una plataforma electrónica de software libre. Posee una cantidad considerable de pines alrededor de 54 entre entradas y salidas. Ideal para trabajos que requieran una cantidad considerable de pines. Posee comunicación I2C que es un protocolo síncrono para enviar datos. Como conclusión se tiene que, este modelo de Arduino posee una gran ventaja con los demás modelos por el número de pines, pero aún sigue teniendo el inconveniente del grado de protección para trabajos en el campo (Antonio, 2020).

#### 4.2.4. Arduino Leonardo

Presentan las siguientes funcionales:

- Modelo del Microcontrolador: ATmega32u4.
- Voltaje de trabajo: 5 V.
- Tensión de suministro de la placa: 7-12 V.
- I/O digitales: 20 (7 son PWM).
- Velocidad de reloj: 16 MHz.



Figura 18. Arduino Leonardo

Fuente: (Serrotho, 2019).

El Arduino Leonardo es otro de los modelos de la empresa Arduino, posee mayor número de pines que el modelo Uno y Nano. Una de sus características principales es que el modelo de su microcontrolador ATmega32u4 tiene comunicación USB incorporada. Además, posee comunicación serie UART TTL. Se concluye que el modelo Leonardo es ideal para proyectos que necesiten de comunicación serial o a través del USB (Isaac, 2020).

#### 4.2.5. Arduino 101

Se destaca lo siguiente:

- Microcontrolador: Intel Curie.
- Tensión de funcionamiento: 3.3 V.
- Tensión de entrada: 7-12 V.
- Pines de entrada y salida digital: 14 de los cuales 4 son PWM.
- Pines análogos: 6.
- Velocidad de reloj: 32 MHz.
- Bluetooth: Si.
- Funciones adicionales: acelerómetro y giroscopio.



Figura 19. Arduino 101

Fuente: (Serrotho, 2019).

Por último, de los modelos Arduino, se tiene el Arduino 101. Entre sus principales características reconoce gestos, dispone de un acelerómetro de seis ejes y un giroscopio. Además, posee bluetooth incluido para diversos proyectos con este tipo de comunicación inalámbrica. Su diferencia con los demás modelos es su microprocesador de la marca Intel. Como conclusión se tiene que esta tarjeta de desarrollo es ideal para proyectos que requieran medir magnitudes físicas como vibraciones o aceleraciones y posee otra funcionalidad que sirve para medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio (Ahedo, 2019).

#### 4.2.6. Raspberry Pi 4B

Tiene las siguientes funcionalidades:

- Sistema en un chip: Broadcom BCM2711.
- CPU: Procesador de cuatro núcleos a 1,5 GHz con brazo Cortex-A72.
- GPU: VideoCore VI.
- Memoria: 1/2/4GB LPDDR4 RAM.
- Conectividad: 802.11ac Wi-Fi / Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet.
- Alimentación: 5V/3A vía USB-C, 5V vía cabezal GPIO.
- Expansión: Cabezal GPIO de 40 pines.



Figura 20. Raspberry Pi 4B

Fuente: (Serrotho, 2019).

La Raspberry Pi modelo 4B es una computadora en miniatura, posee 40 pines además de poder conectar periféricos de entrada y salida e incluye comunicaciones inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth. Tiene su propio sistema operativo y su fuente de alimentación que puede ser conectada a la red eléctrica la hace mucho más versátil. En conclusión, es ideal para realizar trabajos de campo por su protección, su alto procesamiento de datos y su conectividad Wi-Fi facilita el envío de datos hacia el Internet (Rus, 2019).

### 4.3. Tipos de conexiones inalámbricas

Las redes inalámbricas se dividen en cuatro grupos según el área de aplicación y el rango de la señal: redes inalámbricas de área personal (WPAN), redes inalámbricas de área local (WLAN), redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) y redes inalámbricas de área amplia (WWAN) (Salazar, 2005).

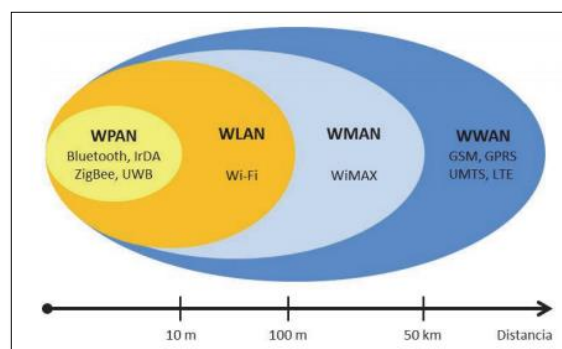


Figura 21. Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: (Salazar, 2005)

En la tabla 2 se mostrarán las características de las redes inalámbricas.

Tabla 2. Comparación entre los tipos de redes inalámbricas

Tipo de red	Nombre	Estándar	Banda de frecuencia	Rango nominal	Máxima velocidad transmisión
WPAN	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	10 m	720 kbps
	IrDA	IrDA	Ventana Infrarrojo 850-900 nm longitud de onda	1 m	16 kbps
	ZigBee	IEEE 802.15.4	868 MHz, 900 MHz, 2.4 GHz	10 m	250 kbps
	UWB	IEEE 802.15.3	3.1-10.6 GHz (USA) 3.4-4.8 GHz & 6-8.5 GHz (Europa)	10 m	480 kbps
WLAN	Wi-Fi	IEEE 802.11	2.4 / 5 GHz	100 m	1 Mbps
		IEEE 802.11 <sup>a</sup>	5 GHz	100 m	48 Mbps
		IEEE 802.11b	2.4 GHz	100 m	11 Mbps
		IEEE 802.11g	2.4 GHz	100 m	54 Mbps
		IEEE 802.11n	2.4 / 5 GHz	250 m	600 Mbps
		IEEE 802.11ac	5 GHz	250 m	1.3 Gbps
WMAN	WiMAX	IEEE 802.16	2-11 GHz y 10-66 GHz	50 km	70 Mbps
WWAN	Móvil	AMPS, GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE	700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz	mayor 50 km	1 Gbps
	Satélite	DVB-S2	3-30 GHz	mayor 50 km	60 Mbps

Fuente: (Salazar, 2005).

En la tabla 2 se observa los diferentes tipos de redes inalámbricas clasificadas por su rango o alcance, en la parte superior se encuentran las redes de menor rango y en la parte inferior las de mayor rango. Las redes inalámbricas se dividen en cuatro: WPAN, WLAN, WMAN Y WWAN. En las redes WPAN se encuentra el Bluetooth, IrDa, ZigBee y UWB, y el alcance va

desde 1 m hasta los 10 m. En la red WLAN está el Wi-Fi que va desde los 100 m hasta los desde 250m. En la red WMAN se tiene WiMAX y su rango va hasta los 50 Km. Y por ultimo se tiene a la red WWMAM, en ella se encuentra a la red móvil y satelital y su rango es mayor a los 50 Km.

## 4.4. Requerimientos del hardware y software del sistema

### 4.4.1. Requerimientos de diseño del sistema

A continuación, se definen las características que debe poseer el sistema hacer implementado:

- Lectura de los sensores de temperatura, humedad y celdas de cargas.
- Visualización de los datos obtenidos de los sensores en la plataforma IoT.
- Almacenamiento de la información en una base de datos.
- Ser un sistema de bajo costo
- Creación de una aplicación móvil para monitorización.
- Emisión de alerta cuando los valores de los sensores están fuera del rango normal.

### 4.4.2. Concepción de la arquitectura general del sistema

La arquitectura general del sistema consta de cuatro capas divididas de la siguiente forma:

- Dispositivos y Controladores Físicos (capa uno). – se encuentra el sensor de temperatura, humedad, celda de carga y la Raspberry Pi 4B. La mayoría de sensores no industriales tienen compatibilidad para ser usados en tarjetas de desarrollo como Raspberry por la facilidad de bibliotecas e información acerca del dispositivo. Se ha elegido a la Raspberry Pi 4B como tarjeta de desarrollo para ejecutar el trabajo de campo debido a las prestaciones que posee para el envío de datos de los sensores hacia la plataforma IoT de Amazon y su compatibilidad. Es por ello que este tipo de tarjeta de desarrollo fue ideal para el desarrollo de la investigación.
- Conectividad (capa dos). – el tipo de conectividad es Wi-Fi por la facilidad de encontrarse en las instalaciones de la colmena un router cerca para hacer el envío de los datos de los sensores hacia la plataforma. Además, la tarjeta de desarrollo disponía de este tipo de comunicación inalámbrica.
- Acumulación de los Datos (capa tres). – los datos tomados de los sensores serán almacenados en una base de datos para posteriormente realizar un análisis de ellos,

cabe mencionar que la plataforma IoT de Amazon dispone de esta característica de forma gratuita.

- Aplicaciones (capa cuatro). – se dispone de una aplicación para la monitorización de los datos medidos mediante la plataforma IoT de Amazon donde resumen los datos obtenidos, enviados y visualizando un sin número de características propias de la plataforma.

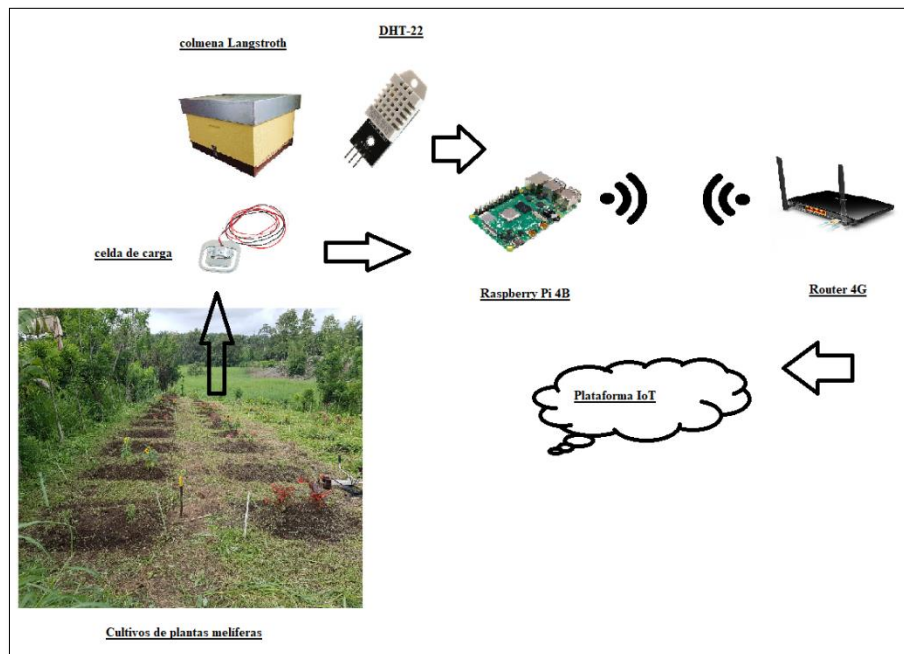


Figura 22. Arquitectura general del sistema

Fuente: (Mazón, 2021)

Como se observa en la figura 22, la colmena está ubicada al final de un jardín botánico de plantas melíferas que sirve de alimento para la colmena, el sensor de temperatura y humedad está ubicado dentro de la colmena y la celda de carga en la parte inferior de la colmena para enviar dato del peso. Todos los valores medidos de los sensores son enviados a la Raspberry que sirve de Gateway para el envío de la información hacia la plataforma IoT.

La comunicación que se usa para comunicarse entre el Gateway y la plataforma IoT es WiFi por las prestaciones que posee el microcontrolador. La plataforma IoT es el encargado de gestionar el almacenamiento en la nube, el procesamiento de la información y la visualización de los datos en un dashboard.

## 4.5. Descripción de los elementos seleccionados

### 4.5.1. Raspberry Pi 4B

Es un ordenador en miniatura que permiten conectar dispositivos de entrada y salida como son el teclado y monitor. Posee puertos USB, una entrada HDMI y Ethernet. Su frecuencia de reloj trabaja a 1.5 Ghz con una memoria interna de 4 Gb de RAM.

Los modelos Pi B+ en adelante tienen 40 pines GPIO para soldar o conectar a los pines. Los pines GPIO son digitales, lo que significa que sólo pueden tener dos estados, apagado o encendido. Los pines operan con un voltaje de 3.3 V y un consumo de corriente pico de 16 mA (Ver Anexo B).

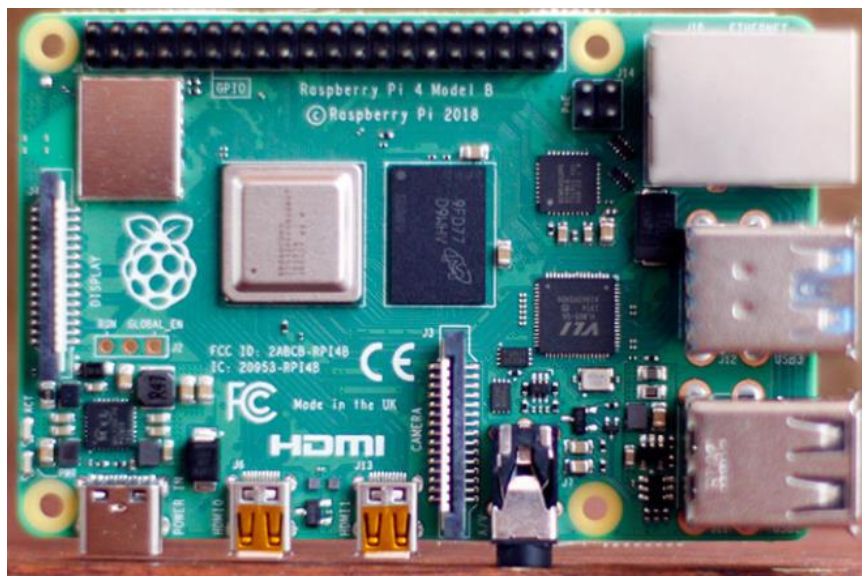


Figura 23. Raspberry Pi 4B

Fuente: (Pastor, 2019)

### 4.5.2. Sensor de temperatura y humedad (DHT-22)

El sensor DHT-22 es un dispositivo digital que mide la temperatura y la humedad relativa. Está conformado por un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante y muestra los datos con una señal digital en el pin de datos. (Ver Anexo C).



Figura 24. Sensor DHT-22

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020)

Entre las especificaciones técnicas se encuentran las siguientes (Ver Anexo D):

- Tensión de Operación: 3 - 6 V
- Rango de medición: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición:  $<\pm 0.5$  °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Lapso de sensado: 2s
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)
- Modelo: AM2302
- Dimensión: 20x15x8 mm
- Peso: 3 gr.

#### 4.5.3. Celda de carga y Trasmisor de celda de carga HX711

Una celda de carga es un sensor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto se hace usando uno o más medidores internos configurados en un puente de Wheatstone. (Ver Anexo E).



Figura 25. Celda de carga de 50 Kg

Fuente: (Tecnopura, 2020)

El módulo Transmisor de celda de carga HX711 actúa como intermediario entre la celda de carga y el microcontrolador, permitiendo tomar la lectura del peso con facilidad. Internamente el puente Wheatstone se encarga de tomar la lectura por medio de la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits. Se comunica con el microcontrolador a través de 2 pines (Clock y Data) de forma serial (Ver Anexo F).

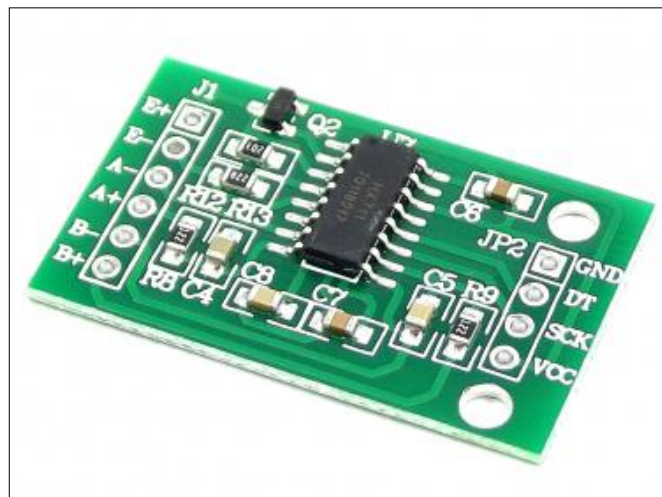


Figura 26. Transmisor de celda de carga HX711

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020)

## 4.6. Esquema de conexión de los elementos del sistema

La conexión física de los sensores con la Raspberry, se muestra en la figura 27.

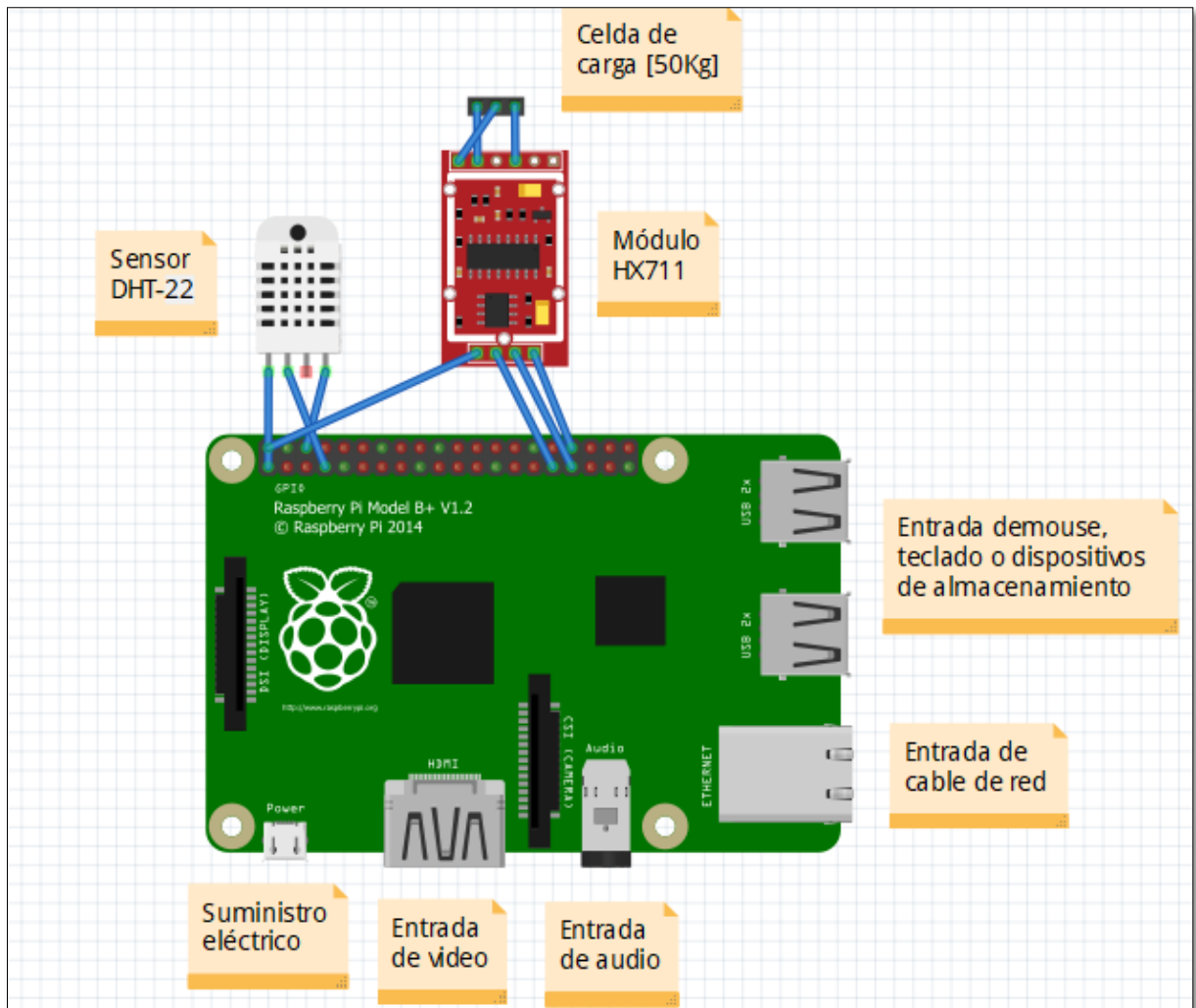


Figura 27. Diagrama de conexiones

Fuente: (Mazón, 2021)

Como se puede observar en la figura 27, el sensor DHT22 está conectado a la Raspberry en forma cableada de la siguiente manera:

- El pin 1 (+) está conectado al pin 1 (3.3 V PWR) de la Raspberry.
- El pin 2 (Out) se conecta al pin 7 (GPIO 4) de la Raspberry.
- El pin 3 (-) se encuentra conectado en el pin 6 (GND) de la Raspberry.

La celda de carga se encuentra conectada consecutivamente con el módulo HX711 y a su vez el módulo a la Raspberry como se aprecia en la figura 27, el detalle de las conexiones se describe a continuación:

#### La celda de carga hacia el módulo

- El cable negro de la celda de carga está conectado al pin 2 (E-) del módulo.
- El cable rojo está conectado al pin 1 (E+) del módulo.
- El cable blanco se encuentra conectado al pin 4 (A+) del módulo.

#### Módulo HX711 hacia la Raspberry

- El pin 1 (GND) del módulo está conectado al pin 34 (GND) de la Raspberry.
- El pin 2 (DT) se encuentra conectado en el pin 29 (GPIO 5) de la Raspberry.
- El pin3 (SCK) está conectado al pin 31 (GPIO 6) de la Raspberry.
- El pin 4 (VCC) está conectado al pin 2 (5 V PWR) de la Raspberry.

## 4.7. Diseño del software del sistema

### 4.7.1.Requerimientos del software del sistema

Los requerimientos del software del sistema implementado son los siguientes:

- La plataforma IoT debe ser un sistema de código abierto.
- Capacidad para conectar varios dispositivos.
- Tener la funcionalidad de enlazar los datos a una base de datos
- Poseer la capacidad de comunicación bidireccional entra la plataforma IoT y la Raspberry.
- La plataforma IoT debe soportar el protocolo de comunicación MQTT.

#### 4.7.2. Flujograma del programa del sistema

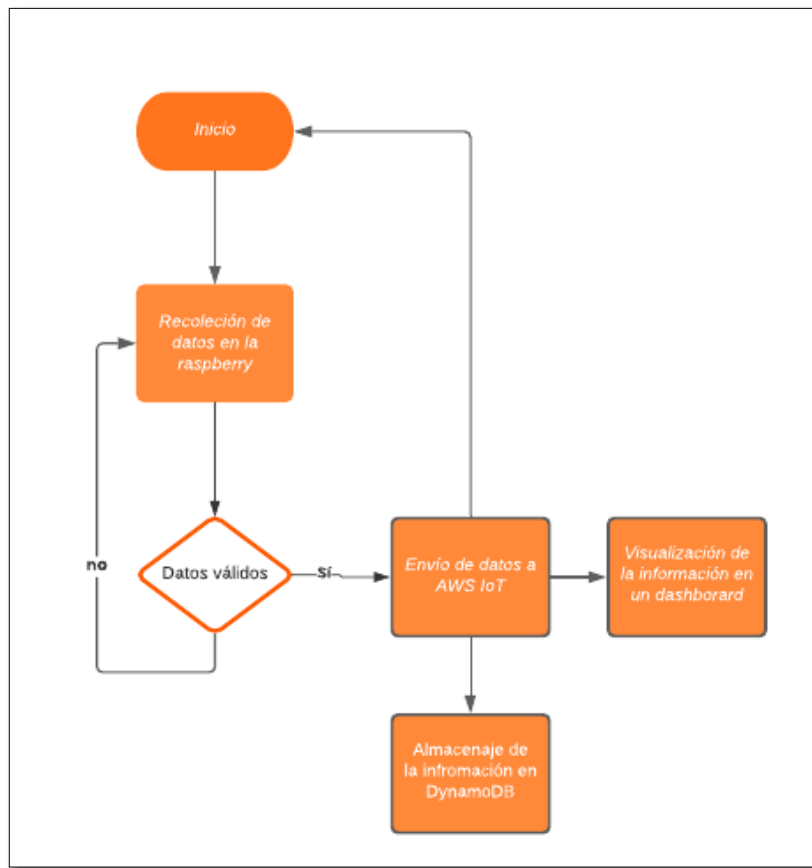


Figura 28. Flujograma del sistema implementado

Fuente: (Mazón, 2021)

Como se observa en la figura 28, el recorrido del proceso parte de la recolección de los datos mediante el sensor y son almacenados en la Raspberry para luego ser enviados mediante el protocolo de comunicación MQTT a la plataforma IoT que en este caso se usó Aws IoT de Amazon. Una vez enviados los datos a Aws IoT, internamente se envían los datos a una base de datos de Amazon llamado DynamoDB y a su vez son mostrados en un dashboard.

## 4.8. Validación del sistema

### 4.8.1. Prueba de los sensores

Se ejecuta el código empleado para obtener los datos del sensor DHT-22, desde LXTerminal o también en la interfaz gráfica Thonny Python IDE.

```

1 import time
2 import adafruit_dht
3 import board
4 dht = adafruit_dht.DHT22(4)
5
6 while True:
7     try:
8         temperature= dht.temperature
9         humidity= dht.humidity
10        print("Temp: {:.1f} °C \t Humidity: {}%".format(temperature, humidity))
11
12    except RuntimeError as e:
13        print("Reading from DHT failure: ", e.args)
14        time.sleep(1)
15

```

```

Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%
Temp: 28.2 °C Humidity: 90.2%

```

Figura 29. Ejecución del código para tomar los valores del sensor DHT-22

Fuente: (Mazón, 2021)

En la figura 29 se muestra el código empleado para tomar los datos del sensor y en la parte inferior del gráfico se muestra los valores obtenidos.

El mismo proceso se realiza para obtener los valores de la celda de carga que puede ser desde LXTerminal o también en la interfaz gráfica Thonny Python IDE.

```

1 import time
2 import sys
3
4 EMULATE_HX711=False
5
6 referenceUnit = 1
7
8 if not EMULATE_HX711:
9     import RPi.GPIO as GPIO
10    from hx711 import HX711
11 else:
12    from emulated_hx711 import HX711
13
14 def cleanAndExit():
15    print("Cleaning...")
16
17    if not EMULATE_HX711:
18        GPIO.cleanup()
19
20    print("Bye!")
21    sys.exit()
22
23 hx = HX711(5, 6)
24
25 # I've found out that, for some reason, the order of the bytes is not always the same between versions of python, numpy ar
26 # Still need to figure out why does it change.
27 # If you're experiencing super random values, change these values to MSB or LSB until to get more stable values.
28 # There is some code below to debug and log the order of the bits and the bytes.
29 # The first parameter is the order in which the bytes are used to build the "long" value.
30 # The second parameter is the order of the bits inside each byte.

```

```

Tare done! Add weight now...
-172.11111111095
-466.11111111095
-1513.11111111095
5.88888888890506
174.088888888905
580.088888888905
-2365.11111111095
-2271.11111111095
-3433.11111111095
2233.888888888905
2454.888888888905

```

Figura 30. Código empleado para tomar los valores de la celda de carga

Fuente: (Mazón, 2021)

En la figura 30 se puede apreciar el código que se usó para obtener los datos de la celda de carga y en la parte inferior de la figura arroja los resultados del sensor.

#### 4.8.2. Pruebas de la plataforma de Aws IoT de Amazon

En la misma plataforma de Aws IoT de Amazon en el apartado de Monitorización nos arroja algunos parámetros que sirven para evaluar al sistema en diferentes áreas como conexiones realizadas correctamente, mensajes publicados, reglas ejecutadas, tasa de protocolo (%), entre otras.

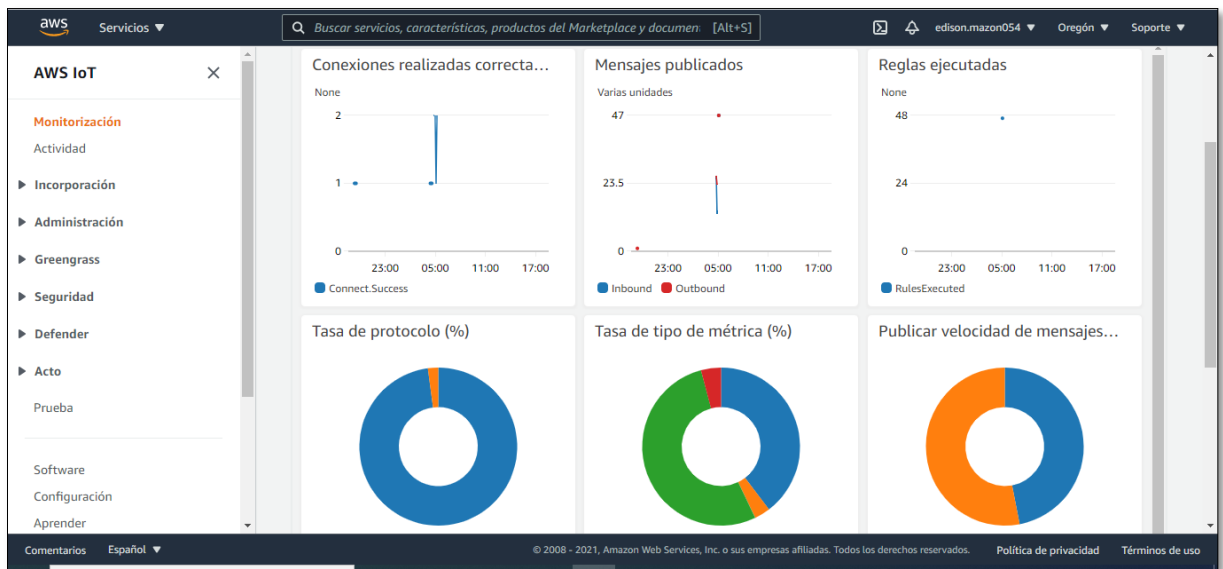


Figura 31. Estadísticas de la Monitorización de Aws IoT

Fuente: (Mazón, 2021)

En la figura 31 se muestran algunos parámetros de monitorización que nos facilita la propia plataforma, donde se obtuvo un 97.9 % de tasa de protocolo MQTT, muestra las conexiones realizadas correctamente detallando las horas y el día, el número de mensajes publicados que fueron de 23 salientes (outbound) y 13 entrantes (inbound), el porcentaje de la tasa de tipo de métrica.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

En la problemática expuesta anteriormente, la principal dificultad que aborda la investigación es la falta de técnicas, procedimientos y el uso de tecnologías de la Industria 4.0 de los apicultores al momento de realizar la explotación apícola. Gracias a la implementación de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 dicho problema ha quedado resuelto de forma satisfactoria a un bajo costo.

Los aportes que se obtuvieron en la realización del trabajo investigativo son las siguientes:

- Mediciones de temperatura, humedad y peso de la colmena.
- Visualización de los valores de los sensores en la plataforma IoT.
- Mensajes de alerta cuando los valores de los sensores están fuera de los parámetros normales.
- Medición de las variables físicas que afectan a la explotación apícola.

Teniendo en cuenta estos resultados, ha quedado demostrado en el desarrollo del TFM que han sido alcanzados los objetivos específicos planteados ya que:

Objetivo específico 1 (Estudiar los diferentes productos de las colmenas, equipos de protección, diseños y ubicación de las colmenas). Este objetivo se considera alcanzado ya que, tal y como queda reflejado en el apartado 4.1 de la memoria ha cumplido satisfactoriamente las expectativas previstas dando una idea al apicultor para realizar las distintas actividades que conlleva la apicultura.

Objetivo específico 2 (Determinar los requerimientos que debe cumplir el proyecto de investigación). Este objetivo se considera alcanzado como se refleja en el apartado 4.2, 4.3 y 4.4 de la memoria ha cumplido satisfactoriamente donde se realizó un análisis de los elementos que pueden ser tomados en cuenta comparándolos entre ellos para determinar los elementos que mejoren se acoplen a la realización del TFM.

Objetivo específico 3 (Seleccionar el hardware y software que permita implementar el diseño del trabajo de campo). Este objetivo se considera alcanzado como se refleja en el apartado 4.5, 4.6 y 4.7 de la memoria ha cumplido satisfactoriamente donde se evaluó a cada elemento mediante sus características y se verificó cual cumplía y se acoplaba a las condiciones que fueron expuestas y en el caso del software, la plataforma que prestaba con las condiciones que necesitaba el proyecto.

Objetivo específico 4 (Evaluar si el sistema implementado cumple con los requerimientos establecidos al inicio de la investigación). Este objetivo se considera alcanzado como se refleja

en el apartado 4.8 de la memoria ha superado con las expectativas previstas donde se ha evidenciado la calidad de los datos obtenidos de los sensores, la comunicación entre la Raspberry y la plataforma IoT se realizó satisfactoriamente sin pérdida de información como se evidencia en la memoria del TFM.

Por consiguiente, se puede concluir que el objetivo principal, Implementar la monitorización de una colmena basada en un entorno IoT en la Finca Experimental “La María” en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en la provincia de Los Ríos en la ciudad Quevedo, ha sido alcanzado tras la realización de este TFM.

Como línea de trabajo futuro se propone valorar la aplicación de técnicas de visión artificial para detectar plantaciones melíferas, en la cual las abejas puedan ir a recolectar rápidamente el polen de las flores, el uso de la inteligencia artificial permite desarrollar técnicas para tomar decisiones en beneficio de la colonia. Otra línea de trabajo futuro es la creación de una colmena automatizada que controle de forma autónoma la entrada y salida de la piquera de la colmena para resguardar la vida de las abejas y por último se propone diseñar un robot apicultor que realice las tareas de apertura y cierre de la colmena, que verifique, analice y corrija problemas dentro de la colonia y que retire e ingrese los cuadros de las cámaras de producción de miel.

## Referencias bibliográficas

- Ahedo, J. (2019). Arduino 101 & Genuino 101 – Características técnicas. Web-Robotica. Recuperado de: <https://www.web-robotica.com/arduino/placas-arduino/arduino-101-genuino-101-caracteristicas-tecnicas>
- Antonio. (2020). Arduino Mega 2560 Características, Especificaciones. Proyecto Arduino. Recuperado de: <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>
- ASPgems. (2019). Metodología de desarrollo de software (III) – Modelo en Espiral. Recuperado de: <https://aspgems.com/metodologia-de-desarrollo-de-software-iii-modelo-en-espiral/>
- Atmajaya, D., Kurniati, N., Astuti, W., Salim, Y., & Haris, A. (2018). Digital Scales System on Non-Organic Waste Types Based on Load Cell and ESP32. 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT), Makassar, Indonesia.
- Binti Hasim, H., Ramalingam, M., Ernawan, F., & Puviarasi, R. (2017). Developing fish feeder system using Raspberry Pi. Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), Chennai, India.
- Biswas, A., & Giaffreda, R. (2014). IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges. IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul, South Korea.
- Buitrago, D., Castañeda, E., Cifuentes, N., & Ruge, I. (2020). Development of A Data Acquisition System for Remote Monitoring of Environmental Variables in The Apis Mellifera Bee Hive. IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), Ixtapa, Mexico.
- Faroqi, A., Efendi, M., Ismail, D., & Darmalaksana, W. (2020). Design of Arduino Uno Based Duck Egg Hatching Machine With Sensor DHT22 and PIR Sensor. 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia.
- Isaac. (2020). Arduino Leonardo: todo lo que necesitas saber sobre la placa de desarrollo. Hardware libre. Recuperado de: <https://www.hwlibre.com/arduino-leonardo/>

- Isaac. (2021). Arduino Nano: todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo. Hardware libre. Recuperado de: <https://www.hwlibre.com/arduino-nano/>
- IT NOW. (2019). El IoT promete salvar a las abejas. Recuperado de: <https://revistaitnow.com/el-iot-promete-salvar-a-las-abejas/>
- Jadiaz. (2016). Placa Arduino UNO. Mi Arduino. Recuperado de: <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>
- Kridi, D., De Carvalho, C., & Gomes, D. (2016). Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127(1), 221-235. doi: 10.1016/j.compag.2016.05.013
- Márquez, O., Méndez, A., Sebastián, G., & Baquero, G. (2012). Beekeeping monitoring module. IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS), Barranquilla, Colombia.
- Martínez, A. (2020). Internet de las cosas (IoT) para identificar colmenas en peligro. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. Recuperado de: <https://territori.gencat.cat/es/detalls/Article/Beeandme>
- Naylamp Mechatronics. (2020). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302). Naylamp Mechatronics - Perú. Recuperado de: <https://www.naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Naylamp Mechatronics. (2020b). Tutorial transmisor de celda de carga HX711, Balanza Digital. Recuperado de: [https://www.naylampmechatronics.com/blog/25\\_Tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-HX711-Ba.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/25_Tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-HX711-Ba.html)
- Pastor, J. (2019). Raspberry Pi 4 Model B, análisis: doble de potencia para un mini PC milagroso, pequeñito, pero matón. Xataka. Recuperado de: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>
- Raj, A., & Jayanthi, J. (2018). IoT-based real-time poultry monitoring and health status identification. 11th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA), Sharjah, United Arab Emirates.

Recuero, P. (2020). Inteligencia artificial e IoT para salvar a las abejas. Recuperado de: <https://empresas.blogthinkbig.com/inteligencia-artificial-e-iot-para-salvar-a-las-abejas/>

Revista Lideres. (2018). La apicultura se mueve con tres ejes estratégicos en Ecuador. Recuperado de: <https://www.revistalideres.ec/lideres/apicultura-miel-abejas-ministerio-agricultura.html>.

Rus, C. (2019). Raspberry Pi 4 es oficial: una completa actualización con procesador Cortex-A72, hasta 4 GB de RAM y desde 35 dólares. Xataka. Recuperado de : <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>

Salazar, J. (2005). REDES INALÁMBRICAS. TechPedia. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf)

Secretaría de Agricultura y Ganadería. (2005). Manual Técnico de Apicultura. Recuperado de: [https://www.mieldemalaga.com/data/manual\\_apicultura.hon.pdf](https://www.mieldemalaga.com/data/manual_apicultura.hon.pdf)

Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (2001). Manual Básico de Apícola. Recuperado de: [https://www.mieldemalaga.com/data/manual\\_basico\\_apicultura.mex.pdf](https://www.mieldemalaga.com/data/manual_basico_apicultura.mex.pdf)

Serrotho, S. (2019). Internet de las Cosas desde abajo: Dispositivos y Controladores Físicos. Tech Data. Recuperado de: <https://blog.techdata.com/ts/latam/internet-de-las-cosas-desde-abajo-dispositivos-y-controladores-f%C3%ADsicos>

Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional. (2017). SECAP único organismo certificador de apicultores en el Ecuador. Gobierno de la República del Ecuador. Recuperado de: <https://www.secap.gob.ec/secap-unico-organismo-certificador-de-apicultores-en-el-ecuador/>

Sogi, N., Chatterjee, P., Nethra, U., & Suma, V. (2018). SMARISA: A Raspberry Pi Based Smart Ring for Women Safety Using IoT. International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India.

Tecnopura. (2020). Celda de carga 50kg / Sensor de fuerza compatible Arduino. Recuperado de: <https://www.tecnopura.com/producto/celda-de-carga-50kg-sensor-de-fuerza-compatible-arduino/>

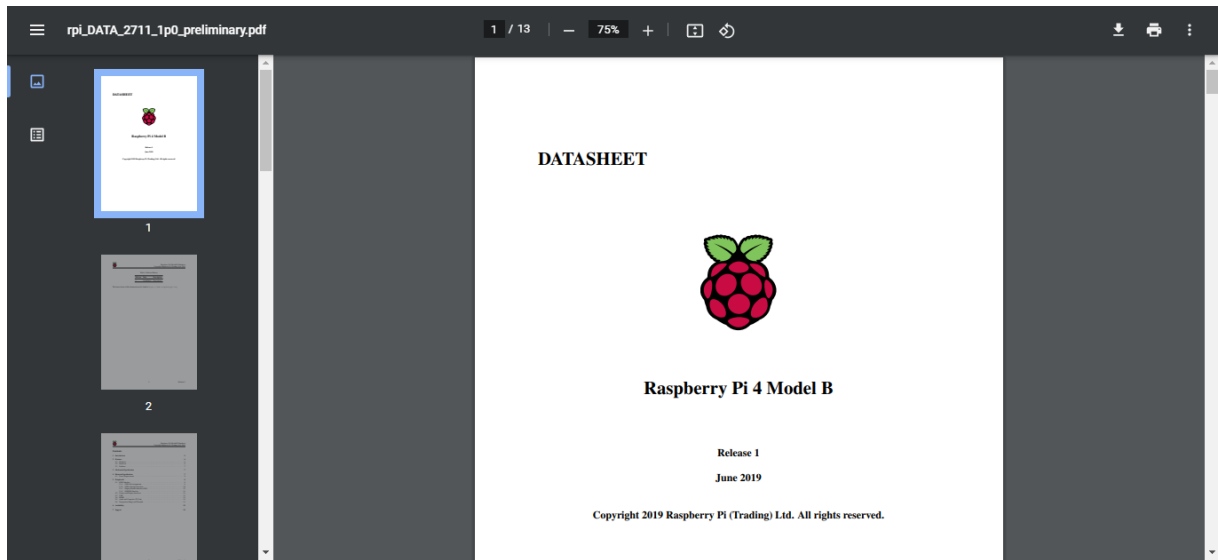
T-Systems. (2020). *T-Systems Iberia se une a la red internacional de colmenas inteligentes*. Recuperado de: <https://www.t-systems.com/es/es/about-t-systems/news/press/red-internacional-de-colmenas-inteligentes-de-t-systems-78184>

Vásconez, J. (2017). Análisis de los Costos de Producción de la Miel de Abeja en Ecuador. Recuperado de: <https://www.revistalideres.ec/lideres/apicultura-miel-abejas-ministerio-agricultura.html>

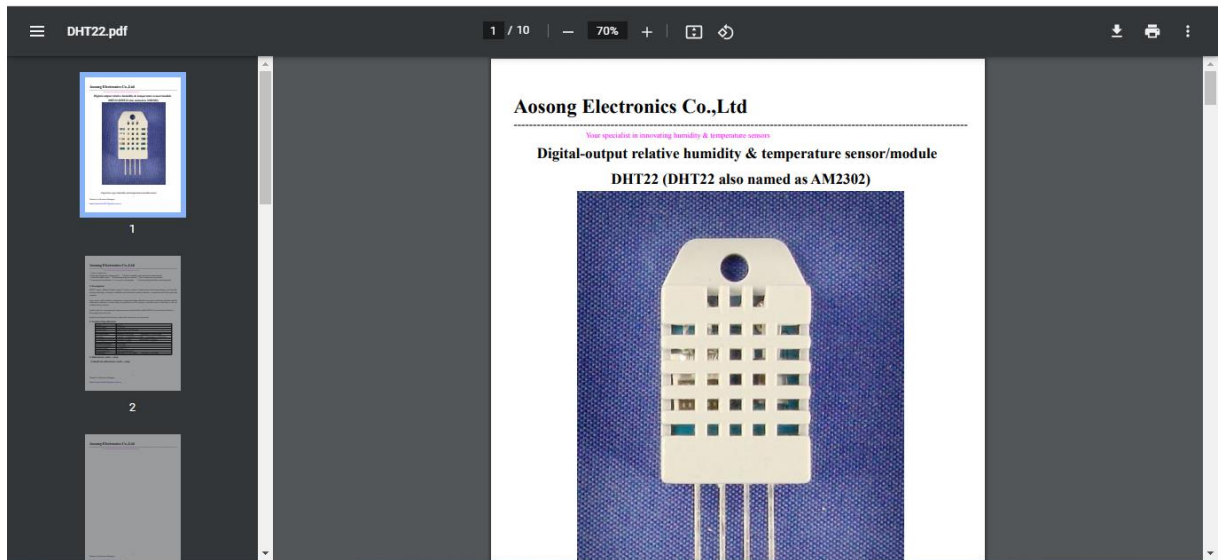
Zacepins, A., Kvišis, A., Stalidzans, E., Liepniece, M., & Meitalovs, J. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring". *Biosystems Engineering*, 148(1), 76-80. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.05.012



# Anexo B. Datasheet Raspberry Pi 4B



## Anexo C. Datasheet DHT-22



# Anexo D. Datasheet Celda de carga


YZC-1B 型号: YZC-1B

**技术指标**


应用	Application	计价尺 Price computing scales	
型号	Model	YZC-1B	
容量	Capacity	2, 3, 5, 8, 10, 30, 35, 40, 50, 80, 80	
输出灵敏度	Rated output	MV/V	
精度等级	Accuracy class	C1	
最大检定分度值	Max. load of verification	D <sub>max</sub>	3000
基本检定分度值	Basic load of verification	V <sub>0.01</sub>	3000
综合误差	Combined error	%RO	≤±0.020
蠕变	Creeep	%RO/30min	0.03
温度灵敏度漂移	Temperature effect on sensitivity	%RO/°C	0.0016
温度零点漂移	Temperature effect on zero	%RO/°C	0.003
零点平衡	Zero balance	%RO	±1.0
输入阻抗	Input resistance	Ω	402±6
输出阻抗	Output resistance	Ω	350±3
绝缘电阻	Insulation resistance	MΩ (50V)	≥500
推荐激励电压	Recommended excitation voltage	10-15	
温度补偿范围	Temperature compensation range	-10-+40	
工作温度范围	Operating temperature range	-35-+80	
安全过载能力	Safe overload	%RO	150

## Anexo E. Datasheet módulo HX711


Microsoft Word - hx71\_english.doc 1 / 9 100% + -




1



2




HX711

---

### 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

---

**DESCRIPTION**

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of  $\pm 20\text{mV}$  or  $\pm 40\text{mV}$  respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface

**FEATURES**

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
  - normal operation < 1.5mA, power down < 1uA
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range: -40 ~ +85°C
- 16 pin SOP-16 package