

Monitoreo de Ambiente en Granja de Grillos “Gryllodes Sigillatus”

Autores:

Mora Pradilla Sergio
Suarez Bermudez Miguel Albeiro

Directores:

García Vargas Luisa Fernanda
Parra Rodriguez Carlos Alberto



Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia
14 de noviembre de 2022

Monitoreo de Ambiente en Granja de Grillos

“Gryllodes Sigillatus”

Abstract

According to the CDIO methodology, this document records the process of conception, design, implementation and testing of an environment monitoring system for a cricket farm. This monitoring system has two Sensor Nodes, a Central Node and a smartphone application to view the information. The nodes communicate with each other through the NRF24L01 module and the Central Node uses a Bluetooth HC-06 module to communicate with the smartphone app. Each node incorporates an ATMEGA238p that receives information from the communication modules and from two sensors in the case of the Sensor Node, the DHT22 and two load cells. The environmental variables monitored by each Sensor Node are humidity and temperature with the DHT22, and weight with a load cell. The data is processed by the microcontroller and sent to a mobile phone to be displayed in an application programmed with the MIT APP inventor tool. In the application the environmental variations are visualized in real time and in graphs an average record of the last 22 hours of the received data is shown. The application has the ability to alert if the recorded values are out of ranges that can be configured within the application. Throughout the document each of the above aspects is shown in detail and at the end the system is evaluated for each of the parts that comprise it.

Agradecimientos

Gracias a mis padres por todo el soporte que me han dado a lo largo de mi desarrollo personal y profesional, así como por las enseñanzas, el amor y la confianza que siguen depositando en mí cada día. Les agradezco a ellos y a mi novia, Juliana, porque esta red de apoyo me ha ayudado a enfrentar y crecer en cada obstáculo que se ha presentado en este camino que ahora concluye.

-Sergio M.-

Índice general

1. Introducción	8
1.1. Motivación	9
1.2. Objetivo general	9
1.3. Objetivos específicos	9
1.4. Estado del arte	10
2. Marco Teórico	13
2.1. Entomofagia	13
2.2. Grillo Gryllodes Sigillatus	14
2.3. Sistema embebido	16
2.4. Microcontrolador	16
2.5. Módulos sensores	17
2.6. IoT	17
2.7. FSM	18
3. Concepción	19
3.1. Descripción del problema	19
3.2. Descripción general de la solución	19
3.3. Requerimientos del cliente	20
3.4. Modelo conceptual	20
4. Diseño	22
4.1. Descripción general del diseño	22
4.2. Bloques del diseño	23
4.2.1. Descripción de bloques	23
4.3. Diseño en hardware	23
4.3.1. Nodo Sensor	24
4.3.2. Nodo central	24
4.4. Selección de componentes	24
4.5. Diseño de software	25
4.5.1. Máquinas de estados	25
4.5.2. Aplicación móvil	29
4.6. Diseño PCB	31
4.6.1. Descripción Layout Nodo Central	31
4.6.2. Descripción Layout Nodo Sensor	31
4.7. Diseño empaque físico	32
4.7.1. Empaque nodos	32
4.7.2. Empaque Nodo Central	32
4.7.3. Empaque Nodo Sensor	32

4.7.4. Empaque celdas de carga	33
4.8. Protocolo de pruebas	33
4.9. Calibración de sensores	35
4.9.1. Humedad y Temperatura	35
4.9.2. Celdas de carga	36
5. Implementación	37
5.1. Sistema de monitoreo	37
5.1.1. Nodos Sensor	37
5.1.2. Nodo Central	38
5.1.3. Celdas de carga	38
5.1.4. Aplicación móvil	40
5.2. Resultados	43
5.2.1. Resultados protocolo de pruebas	43
5.2.2. Resultados calibración de sensores	47
6. Evaluación	48
6.1. Análisis de resultados	48
6.2. Cumplimiento de objetivos	51
7. Conclusiones	52
7.1. Aspectos para mejorar	52
7.2. Reflexiones	52
8. Anexos	53
8.1. Diseño esquemáticos PCB	53
8.2. Diseño físico PCB	54
8.3. Diseño empaque físico nodos	55
8.4. Diseño empaque físico celda de carga	57

Índice de figuras

2.1. Isotanque	15
2.2. Instalación granja Arthrofood	15
2.3. Interior del isotanque con las cubetas de huevos para los grillos	15
2.4. Ejemplo FSM de una talanquera de salida en un estacionamiento	18
3.1. Dibujo descriptivo de la problemática.	20
3.2. Dibujo descriptivo de la solución.	20
4.1. Diagrama de bloques del sistema	23
4.2. Máquina de estados Nodo Sensor	26
4.3. Máquina de estados Nodo Central	27
4.4. Diseño interfaz del sistema	30
5.1. Sistema completo	37
5.2. Nodos Sensores	38
5.3. Nodo Central	39
5.4. Montaje celdas de carga	39
5.5. Capturas de pantalla inicio de la aplicación móvil	41
5.6. Visualización de datos en la aplicación móvil	42
5.7. Pantalla de alerta	43
5.8. Lectura de sensores	44
5.9. Recepción en Nodo Central	45
5.10. Visualización de datos para ambos nodos en la aplicación móvil	46
6.1. Medición de peso en el tempo	49
6.2. Error en la aplicación	50
8.1. Esquemático nodo central	53
8.2. Esquemático nodo sensor	54
8.3. PCB para los dos tipos de nodos	54
8.4. Caja Nodo Central	55
8.5. Caja Nodo Centra Con Carcasas	55
8.6. Caja Nodo Sensor con carcasa	56
8.7. Caja Nodo Sensor	56
8.8. Montaje celda de carga	57
8.9. Alertas por temperatura Nodo 1 y 2	57
8.10. Alertas por humedad Nodo 1 y 2	58
8.11. Alerta por cantidad de comida y agua Nodo 1 y 2	58
8.12. Visualización de datos históricas en la aplicación móvil	59

Índice de cuadros

5.1.	Porcentajes de error en la visualización de temperatura y humedad	47
5.2.	Valores de peso del sistema en la aplicación	47
5.3.	Valores de peso en la báscula de referencia	47
5.4.	Porcentajes de error en la visualización de peso	47

Capítulo 1

Introducción

Para el año 2050 se estima que la población global alcance la cifra de 9 mil millones de habitantes, por tanto, la demanda de proteína derivada de animales se verá incrementada en un 72 % en los próximos 35 años (1). En términos ambientales y ecológicos dicha demanda de proteína animal es insostenible; debido a que, por ejemplo, en América latina la agricultura y la ganadería son responsables de aproximadamente el 95 % de la deforestación, particularmente en la Amazonia, Centroamérica y México. En 2016, los sistemas productores de ganado ocupaban un 45 % de la superficie terrestre del planeta y este contribuía en un 18 % de los gases de efecto invernadero. Consecuentemente, para el 2019 la ganadería y la agricultura fueron responsables de más del 23 % de dichas emisiones (1). La ganadería también es responsable de la deforestación de cerca de 20 millones de hectáreas anuales en bosques tropicales los cuales son los ecosistemas más diversos y productivos que existen. Como consecuencia de la deforestación tropical, más del 50 % de las especies de insectos polinizadores están en riesgo de extinción, así como 25 % de las especies de mamíferos, 15 % de las aves y el 30 % de las plantas de todo el planeta (2).

Además de ser uno de los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, la ganadería requiere mucho más espacio en comparación con otras fuentes de proteína animal, ya que para alimentar a un ser humano durante un año con calorías (aproximadamente un millón) se necesitan alrededor de 13 hectáreas de tierra cultivable. Esto implica que la emisión de 230 toneladas de dióxido de carbono, considerado uno de los principales contribuyentes al calentamiento global, equivale a quemar cerca de 100.000 litros de gasolina. Esto representa entre 20 y 30 veces más emisiones y territorio que lo que se necesita para producir la misma cantidad de calorías con alimentos vegetales (2).

Dadas las problemáticas ambientales que tiene la ganadería, es necesario buscar fuentes alternativas de proteína animal, de bajas emisiones de gases de efecto invernadero, que requieran menos espacio y sean de fácil producción en comparación a la ganadería. Entre estas formas alternativas, es necesario resaltar los insectos. El uso de insectos como alimento es común en diversos lugares del mundo debido a su alto contenido proteico, son considerados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), una fuente importante al tener una masa corporal de entre 60 % y 70 % de proteína (3).

Los insectos son la mayor biomasa en todo el planeta; en conjunto estos pesan más que todos los animales de la tierra. La producción de estos seres vivos para consumo humano trae grandes ventajas en comparación con la ganadería convencional, esta requiere menos agua y espacio para obtener la misma cantidad de proteína que el ganado. Adicionalmente, la producción de insectos genera menos gases de efecto invernadero. Por último, consumir insectos implica un menor riesgo para el ser humano de desarrollar enfermedades en comparación a consumir otros mamíferos y aves (4).

Teniendo la alta demanda de proteína animal, alternativas como la producción de harina a base de grillos, como fuente de proteína animal, está tomando relevancia y popularidad en el lado occidental del planeta. Sin embargo, uno de los problemas a la hora de criar a estos insectos para la producción de dicha harina, es la necesidad de mantener las condiciones ambientales dentro de los intervalos adecuados con el fin de garantizar el buen crecimiento del insecto (5). La implementación de un sistema de monitoreo de las condiciones ambientales en una granja de grillos en Colombia es el caso de estudio de este proyecto, el cual contempla facilitar la producción de grillos para consumo humano y animal. Esto llevaría a cabo monitoreando las variables ambientales para que de esta forma se puedan mantener niveles adecuados de temperatura y humedad, puesto que estos son indispensables para obtener un mejor y más rápido desarrollo de estos insectos.

1.1. Motivación

Este trabajo es el resultado de la puesta en práctica de los importantes aprendizajes que hemos adquirido durante estos años. Esta ha sido la oportunidad de demostrarnos a nosotros mismos de lo que somos capaces los ingenieros electrónicos y el gran potencial que tenemos para aportar al mejoramiento de distintos ámbitos de la sociedad colombiana. En nuestro caso, poder contribuir desde la ingeniería a que la alimentación sana y los procesos de producción agrícola sean sostenibles de manera inteligente y eficiente.

1.2. Objetivo general

- Desarrollar un sistema de monitoreo de variables ambientales y cantidad de alimento para una granja de grillos.

1.3. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de monitoreo de temperatura, humedad y cantidad de alimento.
- Diseñar la comunicación del sistema IoT y de la aplicación para la visualización de información.
- Implementar el sistema de monitoreo de variables ambientales y cantidad de alimento.

- Implementar el sistema IoT y la aplicación para visualización de información.
- Validar el sistema de monitoreo en la granja piloto visualizando los datos en la aplicación móvil.

1.4. Estado del arte

En los últimos años se han consolidado como tendencia los conceptos de granja y agricultura inteligentes. Estos se refieren al uso de herramientas tecnológicas para maximizar el rendimiento del cultivo o granja, obteniendo información relevante sobre las condiciones reales de los animales y el entorno en el que se encuentran. Todo esto en tiempo real y desde cualquier ordenador y/o dispositivo móvil conectado a internet. Estos datos pueden ser analizados por personal capacitado y/o por algoritmos de Machine Learning los cuales después de haber sido entrenados, sugieren las mejores acciones con base al historial de los datos obtenidos por medio de los sensores (6). Con el auge de los sistemas IoT alrededor del mundo se ha incrementado la recolección y análisis de datos de distintos sensores, permitiendo analizar diferentes entornos bajo diferentes condiciones. Monitorear y controlar variables ambientales como la humedad y temperatura, niveles de pH en entornos de cultivo o crianza es una necesidad primordial para obtener el máximo beneficio posible (7).

Las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo y crecimiento apropiado, bien sea de animales o plantas en una granja o cultivo, respectivamente, difieren según la especie y el recurso que se quiera obtener. Por ejemplo, para una granja avícola las variables ambientales que más influyen en el desarrollo del animal son la temperatura, humedad y calidad del aire. Dependiendo de la ubicación geográfica de la granja y la estación del año, las condiciones ambientales del animal deben ser reguladas en mayor o menor medida. Si hace mucho calor se somete al pollo a estrés por lo que pierde el apetito y tiende a enfermar. Si los valores de humedad también son muy elevados, puede llevarlo a la muerte. Los pollos de manera natural producen amoniaco el cual puede llegar a intoxicar al animal si no se tiene una adecuada ventilación en las instalaciones de la granja (8). De igual forma, con el ganado para producción de lácteos son importantes la temperatura, humedad, cantidad de luz y la velocidad del viento, pues si estos factores son muy elevados contribuyen a que el animal se someta a niveles de estrés altos que perjudican su estado de salud (8). En una granja porcina, las variables a tener en cuenta son la temperatura y humedad, pues la temperatura afecta diferente si es un adulto o cría, pero la humedad los afecta por igual. El monitoreo de estas variables, entre otras, es necesario para garantizar un buen estado de salud en el animal y consecuentemente una producción provechosa.

En los cultivos, también afectan al desarrollo de la planta las variables ambientales al igual que en las granjas de animales. Por ejemplo, en los cultivos de papa la temperatura puede incrementar el desarrollo de enfermedades que afectan a la hortaliza como el Tizón tardío (9). Los niveles de pH del suelo junto con la fertilización contribuyen al desarrollo patogénico o parasítico de varios organismos. Caso similar sucede con la planta de plátano, el rango de temperatura ideal es entre 25 y 30 grados centígrados; estar por encima o debajo de este rango puede perjudicar la

salud de la planta y en casos extremos provocar su muerte. Velocidades del viento mayores a 15 metros por segundo pueden arrancar los frutos de la planta e incluso arrancarla del suelo (10). En cultivos hidropónicos, que presentan una solución a la problemática de disminución de espacio para áreas agrícolas, el monitoreo preciso y constante de los niveles de temperatura, humedad y pH son claves para el buen desarrollo de la planta (11). Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se evidencia que el monitoreo de la temperatura, humedad y otras variables ambientales según el caso, sin importar si de animal o planta, se trate.

En países como Perú se han desarrollado trabajos de grado similares al que se está presentando en este documento, sin embargo, se desarrolla en una granja hidropónica a la cual se le monitorea la temperatura, humedad del suelo y humedad relativa usando el sensor DHT11 y el sensor capacitivo SKU-SEN0193 (12). En este, los datos son leídos por medio de un nodo sensor en el cuál un microcontrolador los almacena y los envía por medio de un módulo de comunicación usando la tecnología inalámbrica ZIGBEE. El nodo central recibe los datos usando un módulo ZIGBEE y los envía a un computador por medio de comunicación serial. Por último, el computador, a través de una aplicación desarrollada en Visual Basic (la cual abre el puerto serial por donde están llegando los datos), los recibe y muestra al usuario. No obstante, este sistema carece de comunicación inalámbrica con el usuario lo que dificulta la lectura de los datos, ya que el computador debe estar siempre conectado por medio de un cable al nodo central para recibir los datos. También se observa que este sistema es un modelo de esclavo y maestro, lo que dificultaría la escalabilidad del sistema en caso de que se tuvieran varios contenedores con plantas a las cuales se les quisiera monitorear las variables ambientales(11).

En India también se pueden encontrar cultivos agrícolas inteligentes, pero en este caso al aire libre en donde se usan sistemas micro controlados con comunicación Wi-Fi (por sus siglas en inglés, fidelidad inalámbrica) para recolección, procesado y transmisión de datos ambientales, con la posibilidad de visualizar información relevante en una página web (13). En otros casos, se han implementado sistemas de monitoreo en cultivos aeropónicos ubicados en ambientes cerrados, con la capacidad de controlar los parámetros ambientales usando varios actuadores como humidificadores, ventiladores y calentadores (14). Estos sistemas representan una mejoría respecto a los instrumentos de medición de temperatura y humedad convencionales como lo son el termómetro analógico y el higrómetro, pues la baja precisión de estos instrumentos, el tiempo que tardan en reaccionar ante cambios abruptos y la incapacidad de generar alertas, los hace menos idóneos para casos en donde monitorear estas variables sean de gran importancia (15).

Un caso semejante que se quiere abordar en este trabajo es el de un sistema de monitoreo y control de luz artificial para cultivos bajo techo. Hay cultivos donde la cantidad de luz se regula con sistemas artificiales. En este, se pretende usar un reflector de luz natural para regular la intensidad de la esta en un entorno cerrado. Dicho sistema cuenta con un sensor que mide la intensidad de luz que ingresa por una apertura en un espacio cerrado y con esta información se regula un reflector para incrementar el ángulo de incidencia de la luz que entra en el mismo. También, en este sistema se envía la información de la intensidad de luz mediante internet a

una aplicación de un dispositivo móvil donde se visualiza un historial de la cantidad medida y el posicionamiento del reflector (16).

De esta forma, se encuentra que en Colombia se ha implementado un sistema de monitoreo de variables ambientales en la piscicultura de trucha basado en IoT, en el cual por medio de sensores miden la temperatura, pH, turbidez y oxígeno disuelto en el agua. Esta información es leída por un Arduino Mega 2560, dado a que tiene diferentes protocolos de comunicación como I2C y serial RS-232. Este microcontrolador permite hacer la lectura de una gran variedad de sensores. Una vez se lee, la información se almacena para luego ser enviada a ThingsBoard, un servidor dedicado a aplicaciones de IoT el cuál facilita el análisis y visualización de los datos. El envío de la información se realiza a través del módulo WiFi compatible con muchos microcontroladores, incluidas, las diferentes versiones de Arduino (17).

Dentro de la literatura consultada específicamente a las granjas de grillos, se ha encontrado información relevante de casos internacionales. En España existe una granja de grillos para consumo humano en la que los insectos se mantienen bajo condiciones ambientales controladas para garantizar su buen crecimiento, pero no se documenta como se realiza el proceso de monitoreo o control de estas variables (18). Por otro lado, se encuentra un documento en donde se evalúa el ciclo de vida en una granja de tamaño mediano (9,43 metros cuadrados) de grillos para consumo humano en Tailandia y, aunque no se menciona cómo es el sistema de monitoreo de las condiciones ambientales, se afirma que para su funcionamiento actual no es necesario un sistema de control de temperatura, pero que de implementarse se lograría mejorar la eficiencia de la granja (19).

En Colombia, se ha implementado un prototipo de sistema de monitoreo y control de ambiente para una incubadora de grillos (*Acheta Domesticus*). Sin embargo, este prototipo no fue implementado bajo condiciones reales por lo que estos sistemas para granjas de insectos sigue siendo un caso de estudio en el país. En este prototipo se mide humedad y temperatura por medio de sensores, información que es enviada a un servidor en la nube donde son almacenados y analizados. Con base a los datos obtenidos, las variables ambientales son reguladas con el uso de actuadores que garantizan que esté en el nivel adecuado (5). El caso anterior se queda solo en el desarrollo de un prototipo de monitoreo que carece de una IU (interfaz de usuario) que alerte o notifique según el requerimiento.

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se presentan 7 secciones de conceptos y principios relevantes para el desarrollo de este trabajo. En la primera sección se menciona el consumo de insectos como fuente alimentaria y cómo son comparados los grillos con otras fuentes de proteína. En la segunda se describen las características de la especie de grillo *Gryllodes Sigillatus*, las condiciones para su crianza y cómo se lleva a cabo la producción de este insecto para consumo humano dentro y fuera de Colombia. En la tercera sección son referenciadas algunas de las características de un sistema embibido. En la cuarta sección se define la máquina de estados y cómo esta se representa. Por último, en la quinta sección se destaca la definición del micro-controlador y cuáles son las distintas partes que lo conforman. En la sexta se menciona el concepto de IoT y su relevancia.

2.1. Entomofagia

Se conoce como entomofagia al consumo de insectos como alimento para humanos y animales, práctica que se considera saludable y que se lleva a cabo desde hace siglos en diferentes lugares del mundo (20). Se tiene registro de que los insectos desde hace varios milenios han sido fuente de alimento para el ser humano; desde pruebas pictográficas de recolección de abejas en España hasta el consumo de gusanos en China (1). En la actualidad los grillos en comparación con otras fuentes de alimento como las aves, cerdo y ganado bovino tienen el índice de transformación de alimento más bajo siendo del 1.7, comparado con 2.5, 5 y 10, respectivamente(21). Sin embargo, del peso total de cada animal solo una fracción termina siendo consumible. Los grillos tienen la tasa más alta de eficiencia con un 8% mientras que los otros son 55% para las aves y el cerdo, y 40% para el ganado bovino (21).

Entre las especies de grillos como fuente de proteína, las más comunes en Estados Unidos son *Acheta Domesticus*, *Grylloide Sigillatus* y *Grillus Assimilis* (1). De esas tres especies, la especie *Grylloide Sigillatus* se destaca, a pesar ser un grillo más pequeño, al tener mejores defensas contra infecciones en comparación a la especie *Acheta Domesticus*(22). De igual forma, su exoesqueleto es más fácil de digerir para el ser humano (22).

2.2. Grillo *Gryllodes Sigillatus*

La especie de *Gryllodes Sigillatus* es un grillo perteneciente a la familia Gryllidae y también es conocido como grillo rayado o marcado debido a las líneas que se hacen notables en su espalda en la edad adulta. Aunque son originarios de África, se pueden encontrar alrededor del mundo. Su tamaño es aproximadamente de 20mm, son omnívoros, se alimentan de plantas pequeñas y otros insectos más pequeños (23).

Se diferencia de otros grillos por no tener alas para volar. Sin embargo, el macho usa sus alas para emitir sonidos como método de apareamiento, a diferencia de la hembra que no posee alas. Su periodo de vida se puede dividir en tres etapas, huevo, ninfa y adulto. Los tiempos de cada etapa varían en función de la especie y las condiciones ambientales del entorno en donde se desarrolla. La etapa dentro del huevo tarda entre 7 a 14 días. Siendo una ninfa, durante 30 o 40 días pasa por alrededor de entre 6 a 7 mudas de exoesqueleto hasta la etapa adulta cuando ya es apto para aparearse (4). El *Grylloides Sigillatus* tiene un exoesqueleto más blando en comparación a las otras especies, lo que lo hace más apetecible para consumo humano. En las granjas de grillos se deben de mantener las condiciones ambientales entre los niveles óptimos para su crecimiento(4). Estos parámetros varían en función de la especie y su etapa de desarrollo. Puntualmente la temperatura y humedad son fundamentales; la temperatura debe estar entre 28°C y 32°C entre 40% y 70% de humedad relativa(4).

Por más de 65 años se han producido grillos en los Estados Unidos como carnada para pesca y alimento para diversas mascotas como aves, reptiles y anfibios. Sin embargo, es en los últimos años en donde ha surgido una demanda de este insecto para consumo humano. Los grillos pueden ser digeridos enteramente crudos sin algún tipo de preparación, aunque sus extremidades (antenas y patas) lo hacen menos apetecible. Por lo anterior, estos se comercializan en una presentación conocida como polvo de grillo en donde el insecto es secado y acto seguido triturado (existen varios métodos de producción, entre los más comunes se encuentra el congelamiento y el secado al sol, en un ámbito más comercial se encuentra el secado en tambor, evaporación, pulverización y liofilización como métodos de deshidratación (3)), para obtener el polvo de grillo (20). El objetivo de este polvo es servir como complemento o suplemento en los platos de comida habituales.

Comparado con los procesos industriales de la ganadería, la producción industrial de grillos para consumo humano es inferior al tener un bajo nivel de implementación tecnológico que facilite y ayude a estos procesos a ser eficientes. Las granjas de grillos para consumo humano requieren intervención humana en gran medida, por lo que hay una necesidad de implementación tecnológica y desarrollo industrial para que la producción de grillos como alimento sea rentable y aplicable en la industria alimentaria (1).



Figura 2.1: Isotanque



Figura 2.2: Instalación granja Arthrofood

En la imagen 2.2 se muestra una instalación para cultivar grillos de la empresa Arthrofood. Dentro de esta instalación se ubican unos isotanques (ver la imagen 2.1). Este insecto puede ser cultivado en cajas de entre 36 centímetros y 60 centímetros de profundidad según la granja. En su interior se ubican láminas perpendiculares al piso para aumentar el área superficial habitable por los grillos. El material de las cajas en sus bordes superiores debe ser de textura lisa para evitar que los grillos escalen por las paredes y se escapen, el de las láminas internas suele ser cartón, madera o algún material rugoso donde el grillo pueda estar sin caer (1).



Figura 2.3: Interior del isolantque con las cubetas de huevos para los grillos

En el interior de las granjas de Arthrofood se encuentran bandejas de cartón (usadas para transportar huevos de gallina) las cuales se posicionan de manera vertical

para albergar a los grillos (ver imagen 2.3). Se les proporciona agua en recipientes de poca profundidad para evitar que los grillos puedan llegar a ahogarse y la comida puede ser obtenida por productores especializados o hecha en las mismas granjas. De la cantidad de proteína que se les suministre a los grillos en su alimento, depende la cantidad proteínica que tendrá la harina de grillo. Con el incremento de la demanda de estos insectos para consumo humano, ya están siendo desarrolladas dietas que sean económicas y más eficientes de preparar de manera sostenible.

2.3. Sistema embebido

Un sistema embebido, o también conocido como sistema de computación embebida, es aquel sistema electrónico que está compuesto por componentes de hardware y software que en conjunto se dedican a realizar funciones concretas para llevar a cabo una tarea en particular. Estos sistemas se pueden desempeñar en conjunto con otros sistemas o de manera autónoma. Un ejemplo bastante conocido, son los sistemas IoT que de manera abstracta pueden ser definidos como sistemas embebidos que se conectan a internet. Sin ir a algo tan complejo en magnitud y diseño como lo es el IoT, se puede mencionar otros ejemplos más simples como lo son electrodomésticos, máquinas expendedoras, sistemas AC, sistemas de confort y seguridad en automóviles, etc. Los sistemas embebidos se diferencian de otros en que son diseñados para funcionar de manera repetitiva ejecutando siempre el mismo conjunto de instrucciones, a diferencia de un computador de escritorio, que está diseñado para ejecutar una gran variedad de instrucciones y programas (24).

Otra cualidad de un sistema embebido es que tiende a ser ajustado en los distintos aspectos que caracterizan a un sistema de computación. Normalmente es de bajo costo, eficiente, de bajo consumo, microcontrolado y con la capacidad de procesar datos en tiempo real (25). En la actualidad los sistemas embebidos hacen parte de la vida diaria sin que la gente conozca siquiera de su existencia como tal.

2.4. Microcontrolador

El microcontrolador es un circuito integrado que puede estar compuesto de un procesador, memoria RAM (por sus siglas en inglés, memoria de acceso aleatorio), memoria ROM (por sus siglas en inglés, memoria de solo lectura), controladores para diversos periféricos que dependen de cada microcontrolador, conexiones de pines para E/S, generador de pulsos que funciona como reloj interno, entre otros. El microcontrolador está diseñado para ser de uso práctico, con cada uno de sus módulos de fácil configuración brindándole al usuario flexibilidad para diversas aplicaciones. Esto permite que existan gran variedad de sistemas microcontrolados, entre ellos, los sistemas embebidos que sacan provecho de estos (26).

2.5. Módulos sensores

Un sensor es aquel dispositivo de medición, que a su salida da una señal que es función de la variable que se pretende medir y que puede ser interpretada por otros dispositivos(27).

Por convención, se ha aceptado la tendencia por usar el termino “sensor” para referirse al transductor de entrada, es decir, aquel dispositivo que toma una señal física y a su salida arroja una señal eléctrica, y “actuador”, a aquel dispositivo que toma una señal eléctrica y a su salida arroja una señal física (27). Los sensores y actuadores hacen parte de un conjunto de dispositivos conocidos como MEMS (por sus siglas en inglés, sistemas microelectromecánicos) (28). Estos dispositivos están presentes en muchas áreas donde la tecnología juega un gran papel como en la salud, transporte, comunicaciones, industria y construcción, ocio y consumismo, etc (29). Han sobresalido por sus bajos costos de fabricación, facilidad y practicidad de implementación. Algunos ejemplos de estos dispositivos son acelerómetros, medidores de deformación, micrófonos, sensores de presión, giroscopios entre otros (30). En este trabajo se tendrá en cuenta las magnitudes de temperatura, humedad y peso, junto con los sensores respectivos que mejor se adapten a los requerimientos del sistema.

2.6. IoT

IoT (por sus siglas en inglés, internet de las cosas) (31) se refiere a la capacidad de un dispositivo de conectarse a internet y comunicarse con cualquier otro con la misma capacidad. Esta gran red llamada IoT, de dispositivos inteligentes, recolecta datos que se comparten con otras personas y dispositivos. Estos datos representan información del entorno en donde se encuentran y/o cómo están siendo usados estos. El concepto de IoT nace de la necesidad de controlar y monitorear las cosas que se encuentran en espacios habituales.

Dispositivos que integran sensores, actuadores y otras tecnologías, envían los datos a una misma plataforma en donde se reciben, analizan y procesan para obtener la información más relevante que contienen dichos datos, obtener esta información al alcance y en tiempo real es la razón del porque el IoT cada vez se hace más común en la vida moderna de las personas. El IoT se encuentra en el área de la salud, domótica y recientemente en el área de procesos industriales IoT (31). Junto al concepto de IoT también está presente el de The Cloud o La Nube. Se estima que para el 2023 hayan alrededor de treinta mil millones de dispositivos conectados a internet y cinco mil trescientos millones de usuarios (32).

Una arquitectura simplificada de un sistema IoT se divide en tres capas, capa de percepción, capa de red y capa de aplicación. En la primera capa se encuentran los sistemas embebidos, (la red de sensores, procesadores y microcontroladores) que monitorean el entorno y obtienen los datos respectivos. En la segunda capa se encuentran los sistemas de comunicación entre los sistemas embebidos e internet. En la última capa se encuentra la analítica de datos e información que se realiza en aplicaciones en la Nube para dar sentido y valor a la información. Estas aplicaciones permiten la visualización de la información de manera remota desde un dispositivo

conectado a internet según sea el caso.

2.7. FSM

FSM (por sus siglas en inglés, finite state machine) o máquina de estados, es el conjunto de instrucciones de un programa que permite ejecutar acciones como respuesta a eventos esperados. Una máquina de estados es una metodología de diseño en software en sistemas embebidos en los que siempre hay uno o varios eventos esperados y por ende se deben ejecutar las mismas acciones ante tales eventos (33). Gráficamente, una FSM es representada con un diagrama para entender visualmente cómo es su orden de ejecución y funcionamiento tal como se muestra en la figura 2.4, que es un ejemplo sencillo de una FSM del sistema en una talanquera en un estacionamiento vehicular.

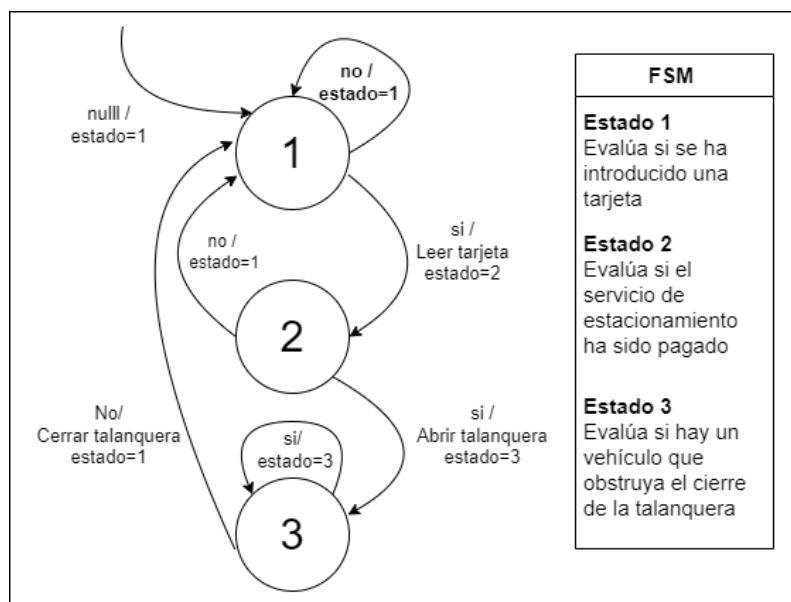


Figura 2.4: Ejemplo FSM de una talanquera de salida en un estacionamiento

Capítulo 3

Concepción

En el presente capítulo se describe la problemática a abordar para el trabajo de grado acerca del monitoreo de variables ambientales en una granja de grillos. Seguidamente, se presenta una solución a dicha problemática a través de un modelo conceptual teniendo en cuenta los requerimientos del cliente, la empresa Arthrofood.

3.1. Descripción del problema

Diego Cruz, fundador de la empresa Arthrofood (empresa especializada en la producción industrial de insectos para consumo humano), está implementando la primera granja de grillos para producción de harina de grillos en Colombia. Él en sus estudios y pruebas sobre la producción de grillos ha encontrado que los tres factores más importantes en los cultivos de grillos son temperatura, humedad y alimentación. Si el nivel de estos factores no está dentro de los intervalos ideales, el tiempo de eclosión de los huevos y de desarrollo, desde la etapa de ninfa hasta el grillo adulto, se retrasa. El monitoreo de estos factores se realiza de manera manual y se requiere de supervisión humana, por lo que no se pueden garantizar las condiciones ambientales ideales para el insecto.

3.2. Descripción general de la solución

Por lo tanto, la solución desarrollada en este proyecto se divide en dos partes. La primera es monitorear los factores ambientales de la granja de Arthrofood, que se encuentra en un ambiente cerrado, implementando un sistema de monitoreo micro controlado con sensores para obtener la información de temperatura, humedad y cantidad de alimento de la granja. La segunda parte de la solución es implementar un sistema de transmisión y posterior visualización de la información de dichos factores ambientales en tiempo real, de tal manera que el usuario tenga acceso a dicha información en cualquier momento. Con la adición de alertar cuando las condiciones ambientales estén fuera del intervalo ideal.

3.3. Requerimientos del cliente

- Medición de cantidad de alimento y agua proporcionada.
- Medición y envío de información de humedad, temperatura y cantidad de alimento por medio de una red local
- Sistema de visualización de datos y alertas en una aplicación móvil.

3.4. Modelo conceptual

A continuación, se presentarán figuras que ilustran la problemática en cuestión y la solución propuesta.

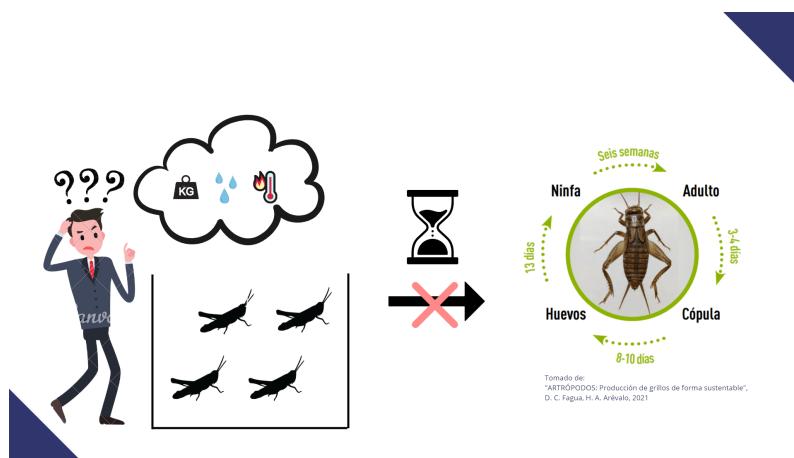


Figura 3.1: Dibujo descriptivo de la problemática.

La figura 3.1 ilustra la problemática mencionada en la sección 3.1. Al no tener información precisa sobre el valor de las variables ambientales como la temperatura, humedad y cantidad de alimento, no se pueden garantizar los tiempos ideales de desarrollo del insecto.



Figura 3.2: Dibujo descriptivo de la solución.

Luego, en la figura 3.2 se ilustra la solución desarrollada en este documento. Mediante una aplicación en un teléfono móvil conectado de manera inalámbrica a un sistema de monitoreo de las variables ambientales en el interior donde reside el insecto, se puede alertar si alguna de estas variables está por fuera de su intervalo deseado y luego proceder y corregir dicho valor.

Capítulo 4

Diseño

En este capítulo se describirán las partes que forman en conjunto el diseño de la solución a implementar en este trabajo. Se hace una descripción del diagrama de bloques de cada uno de los bloques que lo conforman, se describen cuales son los componentes que conforman y como están conectados entre sí.

4.1. Descripción general del diseño

El diseño del sistema consta de 2 partes acordes a los objetivos planteados en la sección 1.3. Una parte de diseño en hardware y otra en software. En la primera parte se tienen dos tipos de nodos (Nodo Sensor y nodo Central) encargados de la recolección, almacenamiento y envío de datos a la aplicación móvil. En la segunda parte se encuentra la aplicación móvil junto con toda la interfaz del usuario necesaria para alertarlo y modificar los intervalos deseados para las variables ambientales.

4.2. Bloques del diseño

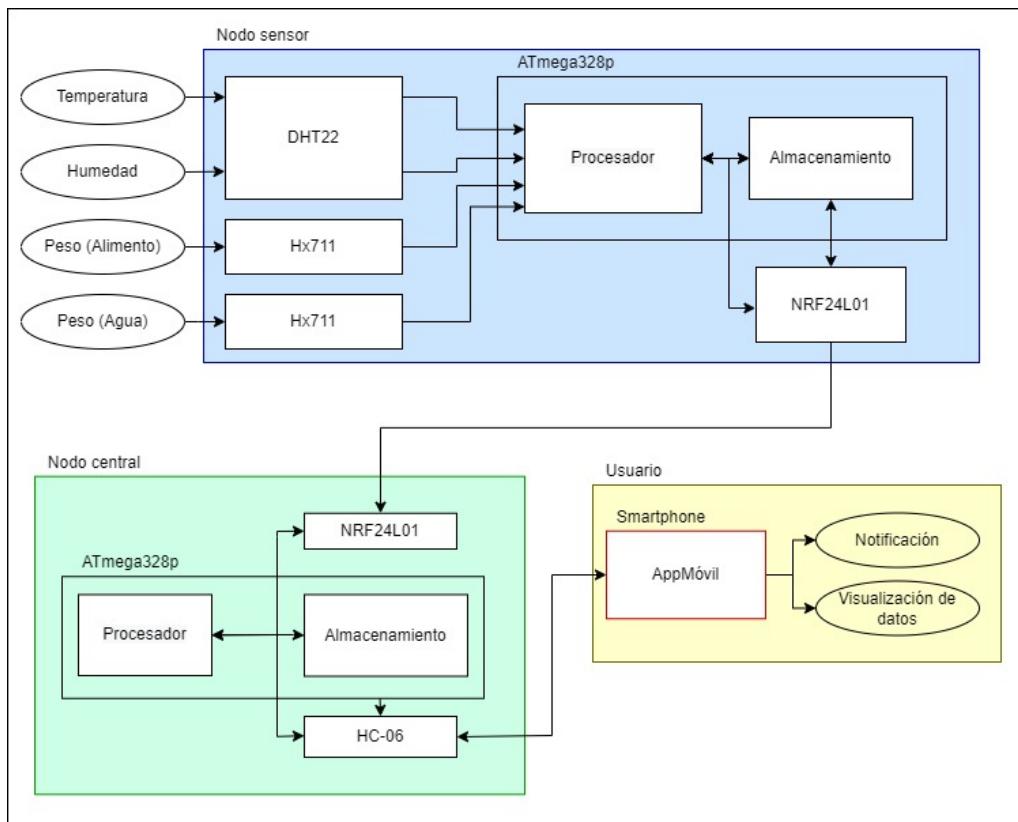


Figura 4.1: Diagrama de bloques del sistema

4.2.1. Descripción de bloques

En la figura 4.1, se tienen como señales de entrada la humedad, temperatura, peso de alimento y agua, las cuales son captadas por los respectivos sensores. Estos datos son almacenados y procesados por el microcontrolador el cual se encarga de almacenar y transmitir los datos hacia el Nodo Central.

El Nodo Central recibe y almacena los datos de todos los nodos sensores para luego enviar estos datos hacia la aplicación móvil a través del módulo Bluetooth. Una vez los datos son recibidos por la aplicación, esta se encarga de organizarlos y mostrar el historial de estos por medio de gráficas.

Como salida se cuenta con una alerta por medio de la aplicación móvil, la cuál notifica al usuario en caso de que los datos recibidos estén fuera de los intervalos definidos.

4.3. Diseño en hardware

El sistema tiene dos tipos de nodos; Nodo Sensor y el Nodo Central. A continuación, se describirán sus funciones.

4.3.1. Nodo Sensor

El Nodo Sensor, como se aprecia en el recuadro azul de la Figura 4.1, es el nodo encargado de capturar datos de 3 sensores. Se toman datos de temperatura, humedad, peso del alimento y peso del agua. Los datos provenientes de estos sensores van a un microcontrolador el cual toma estos datos para procesarlos y convertirlos en información. El Nodo Sensor envía dos tipos de paquetes datos al Nodo Central, uno es la información actual de los sensores y el otro información de promedios, los cuales son un promedio de 10 datos que se toman durante 2 minutos y se envían cada 15 minutos. Esta información será enviada mediante un módulo de comunicación inalámbrica hacia el Nodo Central. En este trabajo se plantea usar dos Nodos Sensores los cuales estarán conectados a un Nodo Central.

4.3.2. Nodo central

El Nodo Central, como se aprecia en el recuadro verde de la Figura 4.1, se encarga de tomar la información proveniente de los nodos sensores disponibles y organizarla para ser enviada hacia la aplicación móvil.

4.4. Selección de componentes

Para la implementación del sistema de monitoreo se han seleccionado los siguientes componentes:

- **Microcontrolador:** En este caso se usa el Microcontrolador ATmega328p (usado en el Arduino UNO) ya que tiene la suficiente cantidad de pines GPIO para conectar los sensores necesarios y módulos de comunicación. Este microcontrolador cuenta protocolo de comunicación serial el cuál es usado por el módulo Bluetooth para recibir los datos. Otra característica importante a la hora de seleccionar un microcontrolador es la resolución del ADC, en este caso el ATmega328p tiene un ADC de 10bits, lo cual es una resolución suficiente para tener una buena representación de las señales obtenidas de los sensores. Otras características tomadas en cuenta para la selección del microcontrolador fueron su fácil adquisición y bajo costo.
- **Sensor de humedad y temperatura:** Para medir las variables ambientales se usa el sensor digital DHT22. Este es un sensor de humedad y temperatura digital, el cual envía los datos leídos por medio de 1-wire-bus de forma que el microcontrolador recibe y almacena estos datos. Unas de las características importantes de este sensor son su buen rango de temperatura (-40 °C - 80 °C) y precisión de medición <0.5 °C los cuales para esta aplicación son suficientes.
- **Celda de carga:** Para medir la cantidad de alimento y agua se usan celdas de carga de 1 kg junto con el módulo de acondicionamiento de señal Hx711. Este último permite que el microcontrolador lea la información de la celda de carga de forma rápida y fácil, obteniendo los datos en forma digital, lo cual facilita en gran medida el procesamiento de estos.

- **Comunicación entre nodos:** Para que los nodos sensores envíen la información recolectada al nodo central se usa el módulo de comunicación NRF24L01, el cuál es un módulo de bajo consumo que trabaja en la banda de los 2.4GHz y tiene un alcance de unos 40 metros aproximadamente. El rango de alcance de este módulo es suficiente para esta aplicación, teniendo en cuenta que se trabajará con pequeños contenedores en un almacén. El protocolo de comunicación de este módulo es propietario del fabricante, por lo que a partir de esta parte se referirá a él como "radido frecuencia".
- **Comunicación con la aplicación móvil:** Para que el nodo central pueda enviar los datos recibidos a la aplicación móvil se usa el módulo HC-06 el cual es un módulo que soporta comunicaciones Bluetooth 2.0 a 2.4GHz y tiene un alcance de 10 metros, lo cual es suficiente para esta aplicación.
- **Alimentación:** Para alimentar todos los dispositivos se usa un adaptador de 9V el cual pasa a dos reguladores de voltaje de 5V y 3.3V, esto debido a que el módulo de comunicación NRF2401 funciona a 3.3V, todos los demás dispositivos usados funcionan a 5V.
- **Otros:** Además de los dispositivos mencionados anteriormente se usaron algunos dispositivos necesarios para el funcionamiento del sistema, como lo es el reloj externo de 16MHz, el cuál es la fuente externa de reloj del microcontrolador ATmega328p, condensadores para los reguladores de voltaje y reloj externo.

4.5. Diseño de software

A continuación, se mostrarán las máquinas de estados respectivas para cada nodo y la descripción de sus estados. Posteriormente se mostrarán capturas de pantalla de la interfaz del usuario en la aplicación móvil.

4.5.1. Máquinas de estados

En las figuras 4.2 y 4.3 se presenta en diagramas las máquinas de estados de la programación de los microcontroladores del Nodo Sensor y Nodo Central respectivamente.

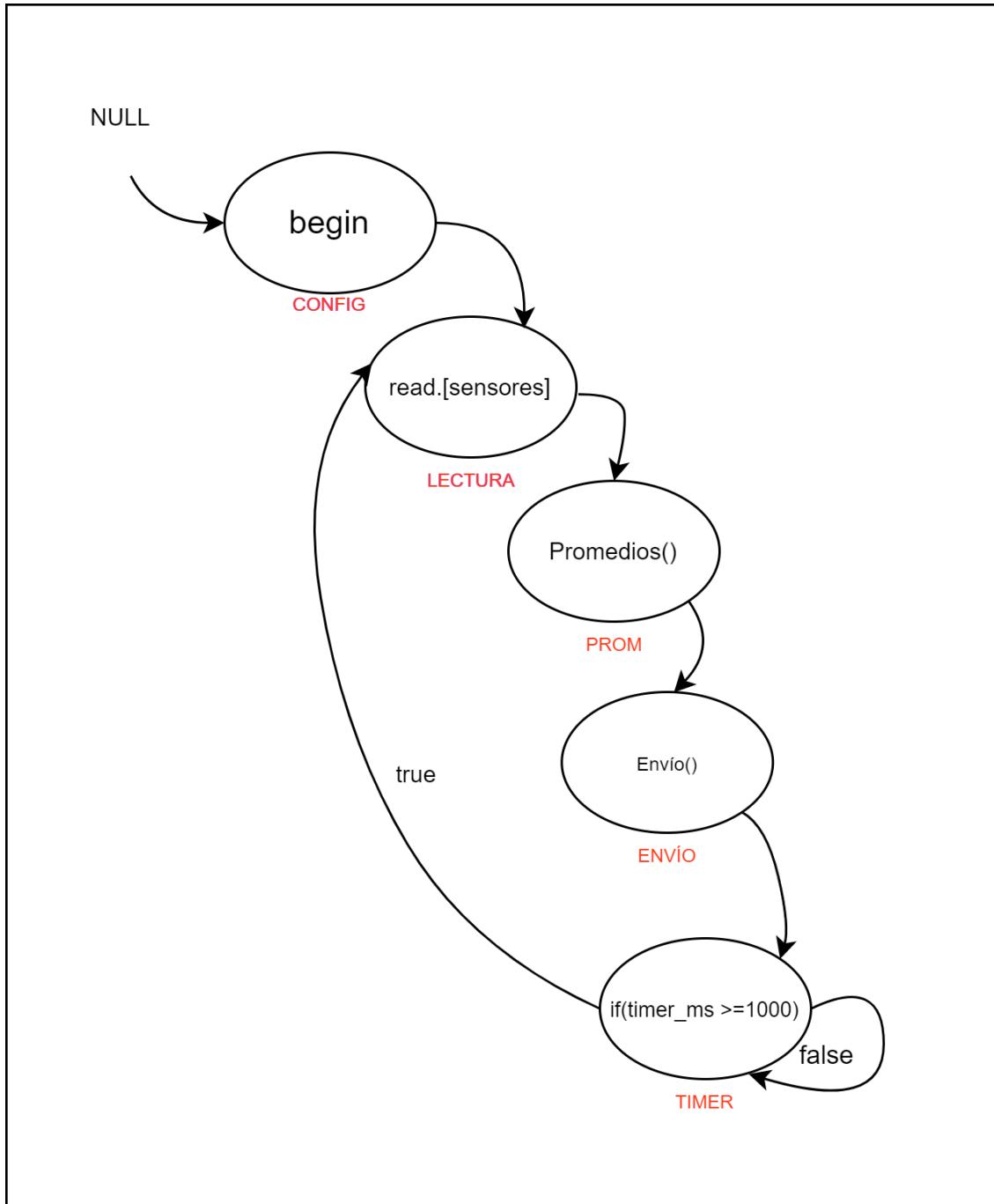


Figura 4.2: Máquina de estados Nodo Sensor

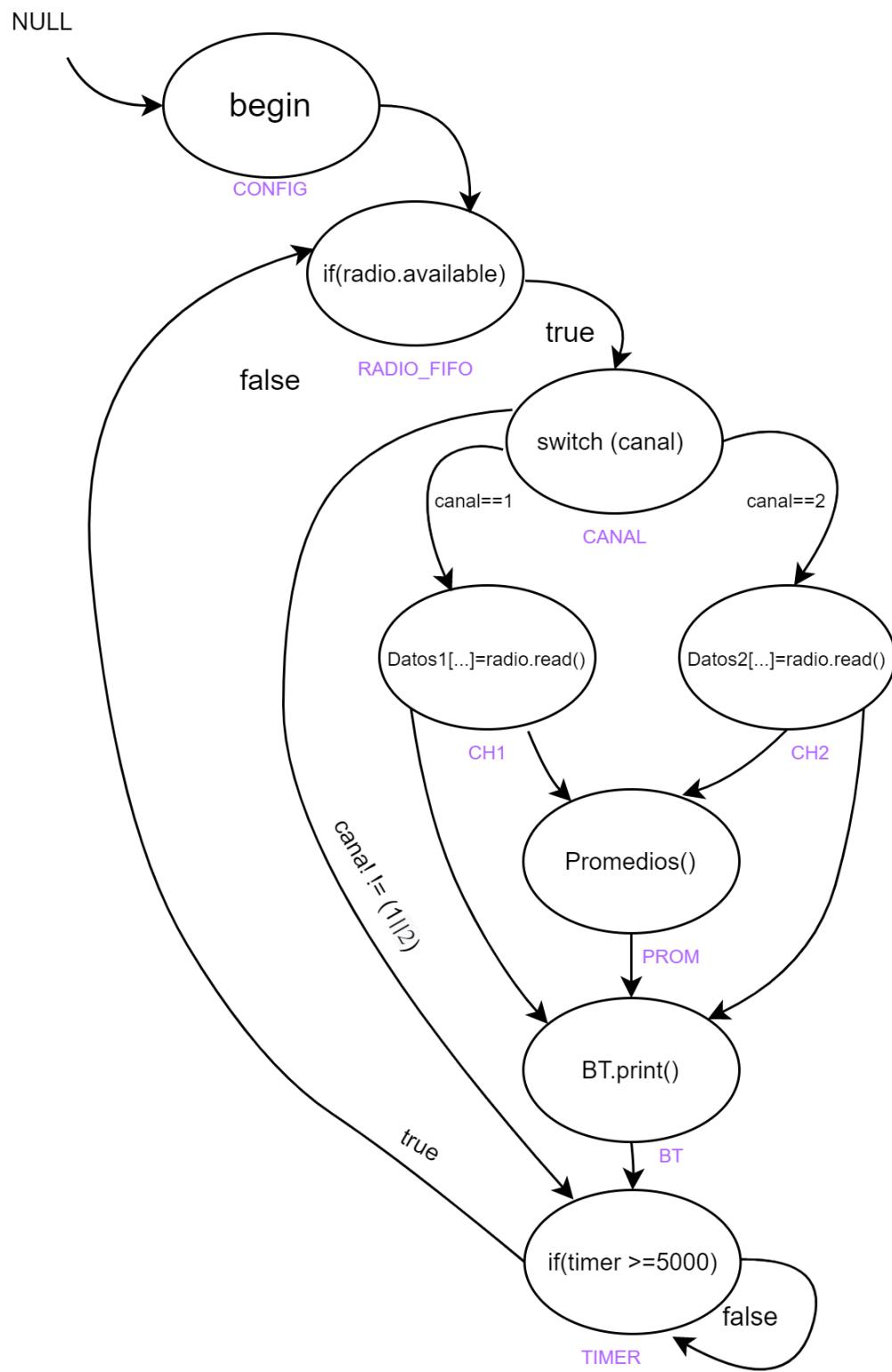


Figura 4.3: Máquina de estados Nodo Central

Nodo Central

En el Nodo central se realiza la configuración de los módulos de comunicación entre el Nodo Sensor y Central, agrupamiento de datos y el posterior envío de estos hacia la aplicación móvil.

Estados

- **CONFIG:** En este estado se realizan las configuraciones e inicializaciones de las librerías y funciones necesarias para la comunicación Bluetooth y radio frecuencia, también se abren los canales de recepción con la dirección de los nodos sensores. Luego se pasa al estado **RADIO_FIFO**.
- **RADIO_FIFO:** En este estado se pregunta si han llegado datos por alguno de los canales de recepción. Si ha llegado algún dato se pasa al estado CANAL, de lo contrario pasa al estado **TIMER**.
- **CANAL:** Despues de saber que ha llegado un dato se pregunta por cuál canal ha llegado y dependiendo esto se pasa al estado **CH1** o **CH2**.
- **CH1, CH2:** En estos estados se lee y se guarda los datos que han llegado, también se verifica si el paquete que llegó es un dato de promedio, si es así se pasa al estado **PROM**, de lo contrario se pasa al estado **BT**.
- **PROM:** Una vez haya llegado un dato de promedio se guarda en un vector de 90 posiciones, si este vector está lleno se elimina el dato más antiguo y se agrega el que acaba de llegar.
- **BT:** En este estado se envían por medio de Bluetooth los datos recibidos hacia la aplicación móvil, luego se pasa al estado **TIMER**.
- **TIMER:** En este estado se espera 1 segundo y luego se pasa al estado **RADIO_FIFO** en donde se empieza el ciclo nuevamente.

Nodo Sensor

En los nodos sensores se lleva a cabo la configuración y lectura de los sensores, almacenamiento, promedio de datos y su posterior envío hacia el nodo central. A continuación, se explican cada uno de los estados que conforman la máquina de estado del nodo sensor

Estados

- **CONFIG:** En este estado se realizan las configuraciones e inicializaciones de las librerías y funciones necesarias para la lectura de sensores y comunicación con el nodo central. Luego de esto se pasa al estado **LECTURA**.
- **LECTURA:** En este estado se realiza la lectura y almacenamiento de datos de los diferentes sensores, estos datos se etiquetan como datos de "tiempo real"para que el Nodo Central los pueda identificar, luego de esto se pasa al estado **PROM**.

- **PROM:** Cada vez que entra a este estado se va tomando el promedio de los datos leídos, una vez se haya completado el promedio se verifica si ya se cumplió el tiempo de envío en el que se debe enviar estos datos, cuando se cumpla este tiempo etiqueta los datos para que el Nodo Central los pueda identificar como datos de promedios, luego de esto se pasa al estado **ENVÍO**.
- **ENVÍO:** Luego de tener los datos guardados y etiquetados se envían por medio del módulo NRF24L, luego pasa al estado **TIMER**:
- **TIMER:** En este estado se espera un 5 segundos para luego pasar al estado **LECTURA** nuevamente.

4.5.2. Aplicación móvil

La aplicación móvil, como se aprecia en el recuadro blanco dentro del recuadro amarillo de la Figura 4.1, es una aplicación de teléfono celular que tiene como fin poder visualizar los valores de las variables ambientales tanto en tiempo real como un registro histórico de las últimas 24 horas. Desde esta aplicación se pueden configurar los intervalos deseados de las variables ambientales y con ello, configurar los valores para los cuales se quiere alertar al usuario cuando lo considere necesario.

Interfaz del usuario

La interfaz del usuario de la aplicación móvil está planteada de la siguiente manera como se observa en la Figura 4.4

1. Pantalla de inicio, el usuario ingresa las credenciales para poder acceder. Por defecto el usuario y contraseña son “ADMIN“. Si las credenciales ingresadas no son correctos, volverá a pedir que los introduzca de nuevo.
2. Muestra un listado de los dispositivos Bluetooth disponibles. Hasta no seleccionar uno, no permitirá seguir a la pantalla 2A.
- 2A. Se muestra un listado de los nodos disponibles para seleccionar.
3. Se visualiza del nodo seleccionado la cantidad de agua en peso (mililitros), la cantidad de comida en peso (gramos), el valor de la temperatura del ambiente en grados Celsius C y el valor de la humedad relativa del ambiente en % RH. Se encuentra una opción para ir a otra pantalla en la que se puede observar una gráfica para cada variable y otra opción para ir a otra pantalla en la que se pueden configurar los valores máximos y mínimos para las alertas.
- 4A, 4B, 4C, 4D. Se observa una gráfica donde se visualizan los datos promediados de la magnitud respectiva en las últimas 24 horas.
5. En esta pantalla, es posible ajustar los límites máximos y mínimos para cada una de las 4 variables. Además, se puede ajustar el punto 0 de referencia para el peso de la comida y el agua.

La pantalla de alerta podrá aparecer en cualquier momento, mostrará en qué nodo y qué variable está fuera del intervalo ajustado además de emitir un sonido de alerta.



Figura 4.4: Diseño interfaz del sistema

4.6. Diseño PCB

Para el montaje de los nodos sensores y central se diseñó un PCB para cada uno, estos diseños en los que se puede observar la ubicación de todos los componentes se encuentran al final de este documento en la sección 8.2 en Anexos. En la figura 8.3b se puede ver el diseño del Nodo Central y en la figura 8.3a el del Nodo Sensor. En la figura 8.1 y 8.2 se muestran los diagramas de conexiones entre el micro, los módulos de comunicación y sensores, del Nodo Central y el Nodo Sensor respectivamente.

4.6.1. Descripción Layout Nodo Central

En la figura 8.3a se muestra el layout del nodo central en el cual se resaltan algunos elementos importantes:

1. Microcontrolador: es el encargado de recibir y almacenar los datos de los nodos sensores para luego enviar estos a la aplicación móvil por medio del módulo Bluetooth. **2. Jack:** es el puerto por el que se alimentan todos los dispositivos conectados al circuito. **3. Regulador 5V:** es el encargado de adecuar el valor del voltaje a un valor fijo de 5V para alimentar a algunos componentes. **4. Regulador 3.3V:** es el encargado de adecuar el valor de voltaje a un valor fijo de 3.3V debido a que algunos componentes requieren este voltaje para funcionar. **5. Entrada HC-06:** a este header se conecta el módulo Bluetooth por medio del cuál se envían los datos a la aplicación móvil. **6. Entrada NRF24:** a este header se conecta el módulo de radio frecuencia encargado de la comunicación entre el nodo central y los nodos sensores. **7. Reloj:** este reloj de 16MHz es usado por el microcontrolador como fuente de reloj externa.

4.6.2. Descripción Layout Nodo Sensor

En la figura 8.3b se muestra el layout del nodo sensor en el cual se resaltan algunos elementos importantes:

1. Microcontrolador: es el encargado de recibir y almacenar los datos de los nodos sensores para luego enviar estos a la aplicación móvil por medio del módulo Bluetooth. **2. Jack:** es el puerto por el que se alimenta todo el circuito de una fuente externa. **3. Regulador 5V:** es el encargado de adecuar el valor del voltaje a un valor fijo de 5V para alimentar a algunos componentes. **4. Regulador 3.3V:** es el encargado de adecuar el valor de voltaje a un valor fijo de 3.3V debido a que algunos componentes requieren este voltaje para funcionar. **5. Hx711:** a este header se conecta el módulo Hx711 que va conectado a la celda de carga y se encarga de la lectura y acondicionamiento de la señal. **7. DHT22:** a este header se conecta el módulo DHT22 el cual es el encargado de la lectura de humedad y temperatura.

4.7. Diseño empaque físico

El montaje del sistema consta de 3 encapsulados distintos. El primero para el nodo central que resguarda la PCB con sus componentes, el micro y ambos módulos de comunicación. El segundo para el nodo sensor que resguarda la PCB con sus componentes, el micro, el módulo de comunicación y por último el sensor de temperatura y humedad. El tercero es el encapsulado de las celdas de carga que es externo al módulo.

4.7.1. Empaque nodos

Una vez se tienen todos los componentes y el PCB, se necesita un contenedor el cuál proteja los dispositivos usados en este proyecto, para este fin se diseñó una caja contenedora para el nodo central y el nodo sensor, la cual mantiene firme el PCB y los sensores por medio de tornillos 3M. Adicionalmente, esta caja puede ser asegurada a una pared, también por medio de tornillos.

4.7.2. Empaque Nodo Central

En la figura 8.4 se presenta la caja contenedora del Nodo Central en la cual se observa la ubicación de los módulos de comunicación y se resaltan algunos puntos importantes.

1. **Soporte:** este soporte se usa para sujetar la caja contenedora a una pared.
2. **Entrada alimentación:** este orificio se usa para dar acceso al cable de alimentación del Nodo Central.
3. **HC-06:** se muestra la ubicación del módulo de comunicación Bluetooth.
4. **NRF24:** se muestra la ubicación del módulo de comunicación NRF24.

En la figura 8.5 se presenta la caja contenedora del Nodo Central, en la cuál se observan las protecciones de los módulos de comunicación.

1. **Carcasa:** esta carcasa contiene y protege el módulo de comunicación HC-06.
2. **Carcasa:** esta carcasa contiene y protege el módulo de comunicación NRF24.

4.7.3. Empaque Nodo Sensor

En la figura 8.7 se presenta la caja contenedora del Nodo Sensor en la cual se observan la ubicación del módulo de comunicación, sensores y se resaltan algunos puntos importantes.

1. **Soporte:** este soporte se usa para sujetar la caja contenedora a una pared.
2. **NRF24:** se muestra la ubicación del módulo de comunicación NRF24.

- 3. DHT22:** se muestra la ubicación del sensor de humedad y temperatura.
- 4. Entrada alimentación:** este orificio se usa para dar acceso al cable de alimentación del Nodo Sensor.
- 5. Entrada de bus de datos de celda de carga:** este orificio se usa para dar acceso a los buses que conectan a las celdas de carga con el PCB.

En la figura 8.6 se presenta la caja contenedora del Nodo Sensor, en la cual se observan las protecciones del módulo de comunicación y sensores.

- 1. Carcasa:** esta carcasa contiene y protege el sensor DHT22.
- 2. Carcasa:** esta carcasa contiene y protege el módulo de comunicación NRF24.

4.7.4. Empaque celdas de carga

Dado que cada nodo sensor cuenta con dos celdas de carga externas al empaque de la pcb y los sensores, se diseñó un montaje para cada par de celdas de cada nodo sensor. Como se aprecia en la figura 8.8a, en un extremo va ubicado el plato de comida (solido) y en el otro extremo va el plato con agua (líquido).

Observando la figura 8.8b, se ve en el interior del montaje las dos celdas de carga que van atornilladas tanto a la base inferior como a la superior donde se colocan los platos respectivos.

4.8. Protocolo de pruebas

Para probar el funcionamiento completo del sistema se desarrolló el siguiente protocolo de pruebas, el cual verifica muchos de los aspectos relevantes del sistema.

Conectividad y alimentación en el PCB:

El PCB debe integrar correctamente todos los elementos, módulos y sensores usados en el nodo (Central o Sensor), por lo cual se deben verificar los siguientes ítems:

- Continuidad entre los puntos de soldadura de cada elemento del circuito.
Para esto se usa el multímetro de precisión Fluke 8845A, usando las puntas de medición se verifica que exista continuidad de corriente en todos los puntos de soldadura del PCB.
- Niveles de voltaje de salida de los reguladores (5 V y 3.3 V):
Usando la función para medir voltaje del multímetro se verifica los niveles de voltaje de alimentación y salida de los reguladores 7805 y ASM1117, los cuales deben tener en la entrada 9 voltios y a la salida 5 v y 3.3 v respectivamente.
- Alimentación de microcontrolador, módulos y sensores:
Usando el multímetro se verifica que en los pines de alimentación del Microcontrolador ATmega328p el nivel de voltaje sea de 5 voltios, así como en los pines de

alimentación del sensor de humedad y temperatura DHT22, HX711 y las celda de carga. Por otra parte, el módulo de comunicación NRF24L01 requiere un nivel de voltaje diferente, por lo que se verifica que en los pines de alimentación de este módulo el nivel de voltaje sea de 3.3 voltios.

Lectura de sensores:

Se verifica que el nodo Sensor lea correctamente los datos del DHT22 y las Celda de carga)

- El microcontrolador del Nodo Sensor se programa con un código simple, para que únicamente lea los datos de los sensores y almacene. Para poder visualizar los datos leídos, estos se envían un computador por medio de protocolo serial.
- Para enviar los datos al computador se usa el módulo serial PL2303, este se conecta a los pines de Tx y Rx del microcontrolador y al computador (por un puerto USB) para transmitir los datos. Por último, estos datos los recibe el computador y se pueden visualizar en el IDE de Arduino usando el puerto serial.

Comunicación entre nodos (central y sensor):

En esta prueba se verifica que el nodo central reciba los datos enviados por los nodos sensores.

- Los módulos de comunicación NRF24L01 se configuran por medio del microcontrolador para que los dos nodos sensores envíen hacia el Nodo Central la información leída de los sensores.
- El Nodo Central se conecta a un computador usando el módulo de comunicación PL2303 para transmitir los datos recibidos de los nodos sensores al computador y ser visualizados en el IDE de Arduino.

Comunicación entre en Nodo Central y Aplicación Móvil

En esta prueba se verifica que la aplicación móvil esté recibiendo los datos enviados por el Nodo Central.

- La aplicación móvil se conecta al Nodo Central usando el módulo Bluetooth para de esta forma recibir los datos enviados por el Nodo Central.
- Los datos recibidos se etiquetan y se muestran en la aplicación.

Generación de alertas:

Se verifica que se generen alertas cuando los datos recibidos se salgan de los intervalos establecidos por el usuario en la aplicación.

- Se hacen variaciones de peso en las celdas de carga para de esta forma sacar los valores de los intervalos establecidos por el usuario en la aplicación.
- Usando una fuente de calor se hace variar la temperatura alrededor del sensor de humedad y temperatura para de esta forma elevar la temperatura fuera de los límites establecidos por el usuario en la aplicación.

- Usando un humidificador se elevan los niveles humedad relativa, para de esta forma elevar la humedad fuera de los intervalos establecidos por el usuario en la aplicación.

- Usando un secador se bajan los niveles de humedad relativa, para de esta forma disminuir la humedad fuera de los intervalos establecidos por el usuario en la aplicación.

- Usando un ventilador se bajan los niveles de temperatura alrededor del sensor de temperatura y humedad, forma disminuir la temperatura fuera de los límites establecidos por el usuario en la aplicación.

Generación de gráficos históricos de datos:

Se verifica que en la aplicación móvil se genere un gráfico por cada uno de los sensores leídos, los cuales correspondan al historial de los datos (una muestra cada 15 minutos según requerimientos del cliente)

- Teniendo el sistema funcionando completamente se deja recolectando datos por varias horas, de tal forma que la aplicación vaya construyendo la gráfica con datos enviados.

4.9. Calibración de sensores

Para tener una medida lo más exacta posible con un sensor de bajo costo, es necesario hacer una correcta calibración de este, ya que por lo general estos sensores nunca se venden perfectamente calibrados. Para esto es necesario tener una medida de referencia confiable.

4.9.1. Humedad y Temperatura

Como referencia para las medidas de humedad y temperatura, se usa el instrumento de medición de humedad y temperatura Vaisala HM70, este sensor es facilitado por parte del Departamento de Electrónica de la Universidad Javeriana y ya se encuentra calibrado. Este equipo tiene una resolución de 0.01 % en las medidas de humedad relativa y una resolución de 0.01°C en la medida de temperatura, lo cual permite obtener una lectura de las variables ambientales bastante confiables.

Para calibrar el sensor de humedad y temperatura, se realiza un ajuste por regresión lineal, el cual consiste en tomar medidas con el sensor a calibrar y el sensor que usa como referencia, para luego hacer un ajuste lineal entre estas muestras y obtener una función que será usada para corregir los datos obtenidos. Se tomaron valores en ambientes con diferentes niveles de temperatura y humedad, para tener varios puntos de comparación entre las muestras y hacer más precisa la aproximación.

Para lograr que los sensores tuvieran las mismas condiciones se ubican cerca uno del otro en un lugar en donde no tenga muchas variaciones de temperatura y humedad. Se dejan en este lugar tomando lecturas por aproximadamente 30 minutos, hasta que las medidas se estabilicen para poder tomar y comparar las medidas de cada sensor.

4.9.2. Celdas de carga

Para calibrar las celdas de carga el procedimiento es distinto, en este caso se usa un peso conocido, el cual es usado para calcular el factor de escala usado por el módulo Hx711 para determinar el peso. Gracias a la librería Hx711 el proceso de calibración es mucho más fácil, ya que existen funciones dentro de esta librería que calculan este factor. Se necesita colocar la celda de carga en un lugar fijo, ya que la calibración depende de la instalación de la celda de carga, luego se coloca el peso conocido en la celda de carga, se ejecuta esta función para obtener la escala, por último, esta escala divide en el peso conocido para obtener el factor de escala que será usado en para calcular el peso a la hora de hacer la lectura de la celda.

Capítulo 5

Implementación

En este capítulo se muestra la implementación del sistema de acuerdo con los objetivos planteados. Se muestra la ubicación de los circuitos impresos en sus respectivas cajas contenedoras para ambos nodos, junto con los sensores ubicados en sus carcásas protectoras y conectados por medio de los buses de datos al PCB. También se muestra el funcionamiento del de los nodos Sensores, nodo Central y aplicación móvil.

5.1. Sistema de monitoreo

En la figura se presenta todos los elementos físicos que forman parte del sistema de medición y recolección de información.

Figura 5.1: Sistema completo

Como se aprecia en la figura 5.1 el sistema cuenta con 7 partes importantes

- 1. Nodo Central.
- 2 y 3. Nodos Sensores.
- 4, 5. Plataforma para comida y agua.
- 6. Alimentación de corriente.
- 7. Aplicación móvil.

A continuación, se presentan estas partes con más detalle.

5.1.1. Nodos Sensor

En la figura 5.2 se presentan las cajas contenedoras del Nodo Sensor 1 y 2, las cuales contienen el circuito impreso junto con los sensores, módulos de comunicación y conexiones respectivas. A continuación, se resaltan algunos puntos importantes

- (1) **Entrada alimentación:** En la parte frontal de la caja contenedora se observa un conector DC de 5.5x2.1 mm, el cual se usa para alimentar al microcontrolador, los sensores y los módulos de comunicación.

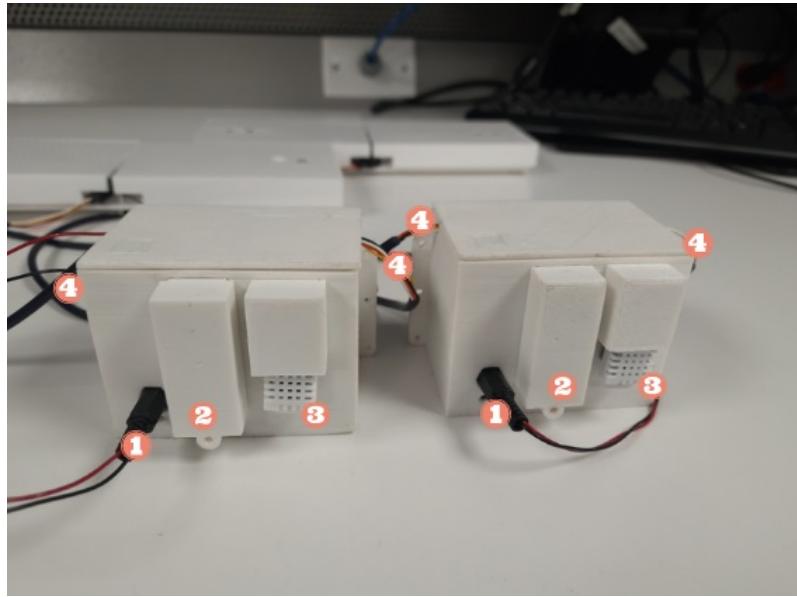


Figura 5.2: Nodos Sensores

- **(2) módulo de comunicación (3) Sensor:** en la figura 5.2 se puede observar la ubicación del sensor de humedad y temperatura (3). Como se observar, este sensor cuenta con una carcasa que protege el módulo sensor parcialmente, quedando expuesta solo la parte del sensor que es necesaria para tomar las muestras del ambiente. Por el contrario, el módulo de comunicación cuenta con una carcasa que cubre la totalidad del módulo ya que esta no interfiere con la transmisión de datos inalámbrica.
- **(4) Conexiones celdas de carga:** Se puede observar en la figura 5.2 por los laterales de la caja contenedora, salen 2 buses los cuales van conectados con las celdas de cargas encargadas de leer la información de cantidad de alimento y agua.

5.1.2. Nodo Central

En la figura 5.2 se presenta la caja contenedora del Nodo Central la cual contiene el circuito impreso junto con los módulos de comunicación y las conexiones respectivas. En esta figura se aprecia la ubicación de los módulos de comunicación HC-06 y NRF24L01. Cada módulo cuenta con una carcasa que lo cubre completamente debido a que estos no requieren estar expuestos para funcionar y también, para proteger y mantener fijos los módulos a la caja contenedora.

5.1.3. Celdas de carga

En la figura 5.4 se presentan los Empaques físicos de las celdas de carga para cada nodo. Este empaque hace de soporte para los recipientes que contienen agua y comida. A este montaje le llegan dos buses de datos (uno para cada celda de carga) por medio de los cuales se alimentan y se envían los datos de peso hacia el nodo.

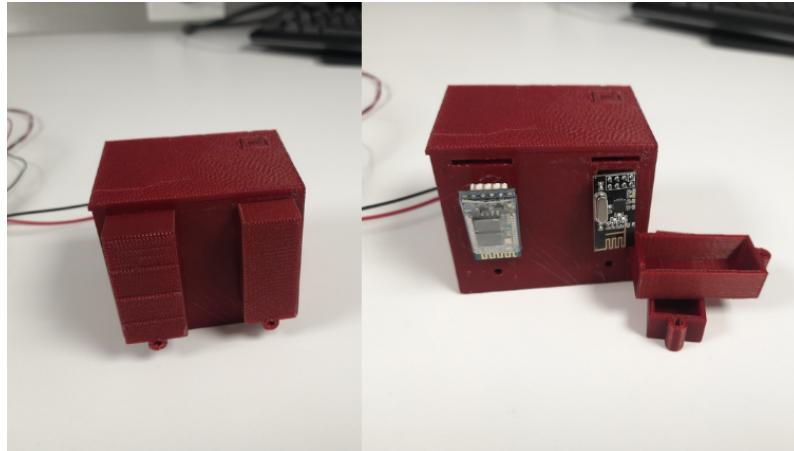


Figura 5.3: Nodo Central

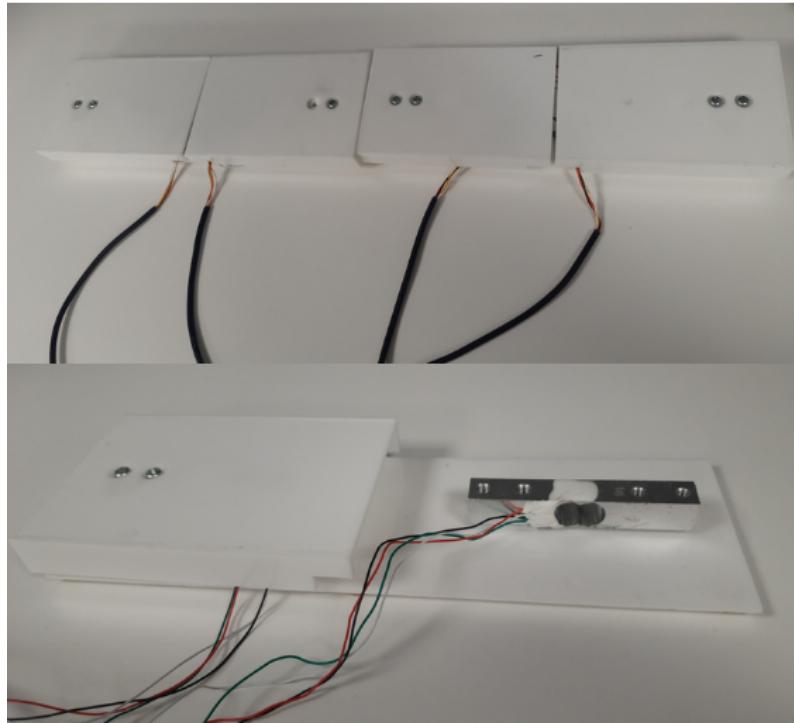


Figura 5.4: Montaje celdas de carga

5.1.4. Aplicación móvil

Esta aplicación se desarrolló en MIT APP Inventor, que es un ambiente de programación visual para aplicaciones móviles (34). Para este trabajo se generó un archivo .apk para sistemas operativos Android.

Acorde a la figura 4.4 y lo mencionado en el Capítulo 4 en la sección sobre interfaz de usuario, se realizó la implementación de la aplicación móvil. A continuación, se mostrará el diseño final de cada una de las pantallas de la aplicación móvil.

En las 4 capturas de pantalla de la figura 5.5 son mostradas las pantallas que el usuario debe seguir al comienzo para usar la aplicación móvil. En las siguientes 4 capturas de la figura 5.6, se muestra que opciones hay y como se visualiza la información. En la captura de pantalla de la figura 8.12d la gráfica muestra todos sus valores en 0 para eje y , y del 1 al 90 en el eje x. Los valores del eje y son modulares y los límites máximo y mínimo varían dependiendo de los datos que se estén graficando. Por el contrario, en el x siempre se mostrarán 90 puntos, esto debido a cómo está programada la aplicación para graficar los datos recibidos. Por lo anterior, la herramienta para graficar utilizada no permite el cambio de nombre para el eje x. Con esto se quiere aclarar al lector que los puntos del 1 al 90 en las gráficas representan las últimas 90 muestras promediadas de los datos, teniendo entre cada una de ella un tiempo de 15 minutos.

Pantallas de inicio

El orden en que debe proceder el usuario para usar la aplicación es el siguiente: Primero se debe registrar con usuario y contraseña 5.5a, y luego debe seleccionar el dispositivo Bluetooth del sistema de monitoreo 5.5c o de lo contrario no podrá continuar a la siguiente pantalla.

Pantallas de información

Con el sistema conectado correctamente, podrá seguir seleccionando la opción de "seleccionar nodo" 5.5d. En la siguiente pantalla aparecerá la opción de seleccionar el nodo que desea monitorear 8.12a. Sin importar qué nodo sea elegido, se mostrará la información de la misma forma como se observa en la imagen 8.12b con la posibilidad de cambiar los intervalos de alerta o ajustar el punto de referencia para el peso en las celdas de carga. Vale hacer la aclaración, que estos ajustes se aplican por igual a ambos nodos.

Pantallas de alerta

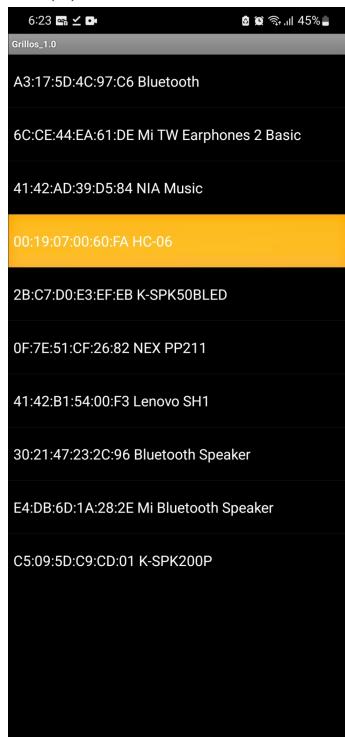
Una vez detecte que alguno de los últimos valores promediados de cada variable ambiental esté por fuera del intervalo establecido, aparecerá una pantalla de alerta indicando qué variable y en qué nodo se está por fuera de dicho intervalo como se ve en la figura 5.7.



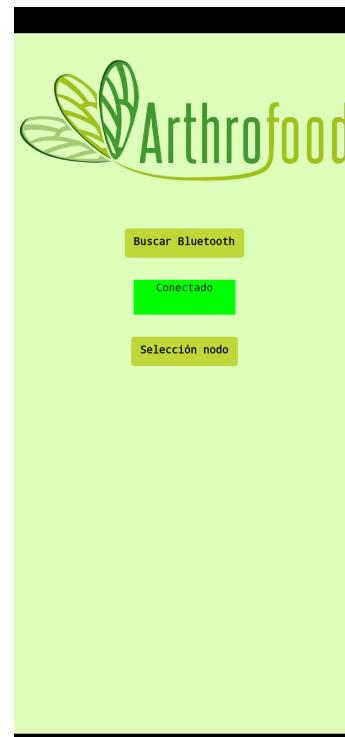
(a) Pantalla de inicio



(b) Selección dispositivos Bluetooth



(c) Lista Dispositivos



(d) Dispositivo conectado

Figura 5.5: Capturas de pantalla inicio de la aplicación móvil

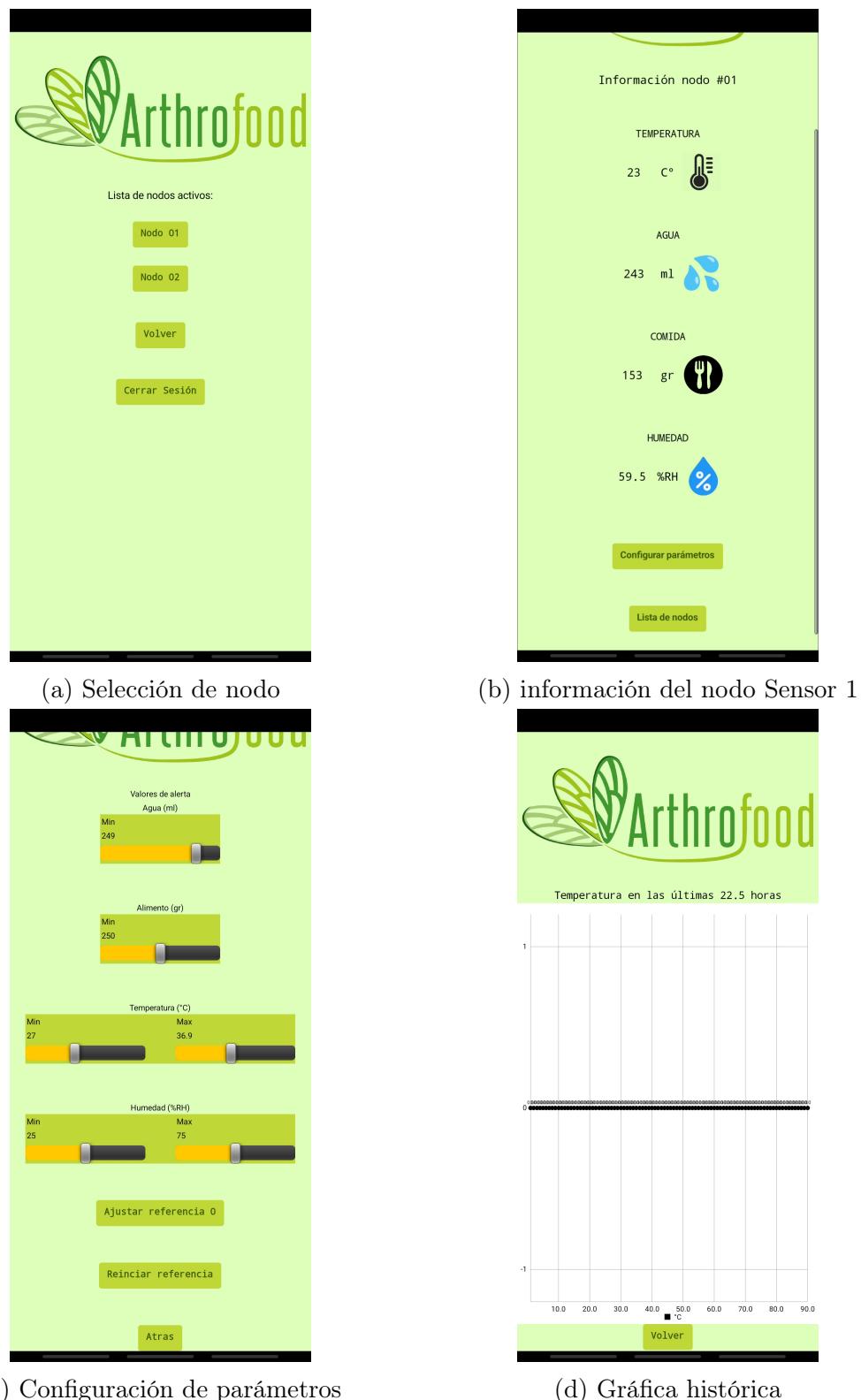


Figura 5.6: Visualización de datos en la aplicación móvil



Figura 5.7: Pantalla de alerta

5.2. Resultados

En esta sección se muestran los resultados de las pruebas propuestas en el protocolo de pruebas del capítulo anterior en la sección 4.8. Se incluyen también los resultados de la calibración de los sensores.

5.2.1. Resultados protocolo de pruebas

Una vez se tienen conectados todos los componentes necesarios se procede a probar el funcionamiento de cada una de las partes que conforman el sistema según el protocolo de pruebas.

Conectividad en el PCB:

Después de soldar todos los componentes a cada uno de los circuitos impresos de los 3 nodos, se verificó correctamente que todos los elementos tuvieran continuidad entre los puntos del circuito. Una vez todo está correctamente soldado y conectado se verificaron los niveles de voltaje a las salidas de los reguladores, obteniendo los niveles esperados para cada uno de los reguladores, lo que garantiza la correcta alimentación de los diferentes sensores y módulos de comunicación.

Lectura de sensores:

Luego de tener conectados y alimentados correctamente los componentes de los Nodos Sensores, se procede a programar el microcontrolador con un algoritmo que únicamente lea los datos de los sensores (DHT22 y Celdas de carga), los guarde y envíe a un computador por comunicación serial. Como se observa en la figura 5.8 los datos se recibieron y se visualizaron correctamente en el IDE de Arduino, obteniendo actualización de los datos cada 2 segundos, dado que este es el tiempo que tarda en sensor DHT22 en tomar una muestra según la hoja de especificaciones.



Figura 5.8: Lectura de sensores

Comunicación entre nodos:

Una vez se están leyendo y visualizando los datos de los sensores (en un computador), se procede a enviar estos datos desde los nodos sensores hacia el Nodo Central por medio de los módulos de comunicación NRF24. Para esto se configuran los módulos por medio de un algoritmo el cual asigna una dirección única a cada módulo de los Nodos Sensores y en el Nodo Central se abren canales en los cuales se esperan estas direcciones. De esta manera cuando los nodos envíen los datos, el Nodo Central puede identificar cuál nodo envió el paquete de datos. Posteriormente se envían los datos recibidos a un computador por medio de comunicación serial, para ser visualizados en el IDE de Arduino. Como se aprecia en la figura 5.9 verificó que los datos enviados desde los Nodos Sensores se reciben y se visualizan correctamente en el computador.

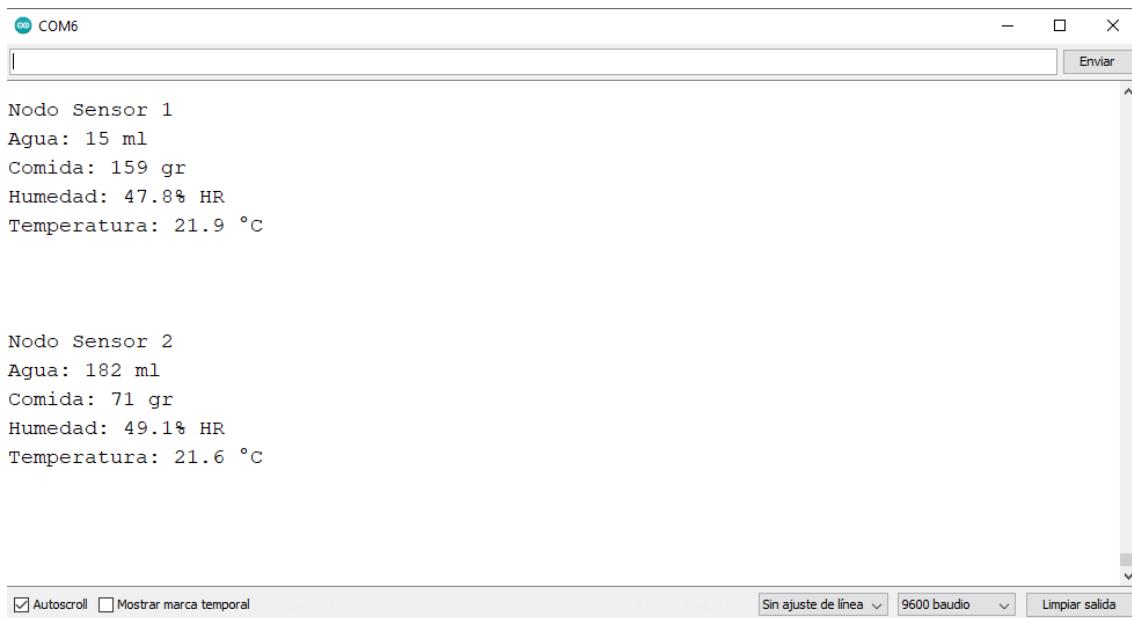


Figura 5.9: Recepción en Nodo Central

Comunicación entre el Nodo Central y la aplicación móvil:

Luego de que el Nodo Central esté recibiendo los datos de los Nodos Sensores, se procede a enviar estos datos a la aplicación móvil por medio del módulo Bluetooth HC-06. Con la aplicación móvil, previamente programada para conectarse al Nodo Central y mostrar los datos recibidos, se procede a programar el microcontrolador del Nodo Central con un algoritmo que configura la comunicación con el módulo Bluetooth para que envíe los datos recibidos de los Nodos Sensores. De esta forma se logra verificar que los datos leídos por los Nodos Sensores y posteriormente enviados hacia el Nodo Central se están recibiendo y visualizando correctamente en la aplicación móvil.



Figura 5.10: Visualización de datos para ambos nodos en la aplicación móvil

En la figura 5.10 se observa cómo se muestran los datos recibidos en tiempo real de cada Nodo Sensor. Estos datos coinciden con los mostrados en la figura ??

Generación de alertas

Luego de que la aplicación móvil esté recibiendo correctamente los datos de los sensores, se procede hacer variar las variables ambientales y de peso para que los datos leídos estén fuera del intervalo configurado por el usuario en la aplicación móvil. En las figuras 8.9, 8.10 y 8.11 se observan las alertas generadas por la aplicación cuando alguno de los valores leídos está fuera del intervalo esperado.

Generación de gráficos datos históricos

Para probar la generación de gráficos históricos se procede a dejar el sistema en funcionamiento continuo por un periodo de 22.5 horas, para que el sistema tenga tiempo suficiente para tomar datos y graficar el historial de estos. En la figura 8.12 se muestran las gráficas correspondientes a uno de los nodos después de estar en funcionamiento continuo.

5.2.2. Resultados calibración de sensores

Para obtener el error porcentual entre la humedad y temperatura, mostrados en la Aplicación Móvil y los datos reales, se realizó una prueba en un laboratorio en el cual se dejó el sistema de monitoreo, tomando datos junto con el instrumento de medición Vaisala HM70 por un periodo de tiempo de 40 minutos procurando que fuese un entorno cerrado y que no estuvieran personas dentro que pudieran afectar estas mediciones. Estos fueron los resultados que se obtuvieron al promediar los valores obtenidos del sistema y del instrumento de medición, como se puede ver en el cuadro 5.1 .

Valores de temperatura y humedad				
fuente	Temperatura °C	% de error	Humedad %RH	% de error
Vaisala	19.9	0.00	58.0	0.00
Nodo 1	20.8	4.52	55.6	4.13
Nodo 2	20.5	3.01	56.0	3.44

Cuadro 5.1: Porcentajes de error en la visualización de temperatura y humedad

Para obtener el error porcentual en los datos de peso de agua y comida mostrados en la aplicación, se colocó el mismo peso en todas las celdas de carga del sistema, el valor obtenido en la aplicación 5.2 se comparó con el mismo peso puesto en una báscula digital 5.3. Se hace la aclaración de que un 1 mililitro de agua es equivalente a 1 gramo de agua, por lo que se utilizará mililitros (ml) para referirse a la cantidad de agua. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 5.4.

Valores de peso aplicación		
Valor	Nodo 1	Nodo 2
Agua (ml)	465	400
Comida (gr)	401	578

Cuadro 5.2: Valores de peso del sistema en la aplicación

Valores de peso báscula		
Valor	Nodo 1	Nodo 2
Agua (ml)	473	402
Comida (gr)	401	576

Cuadro 5.3: Valores de peso en la báscula de referencia

Error % en la aplicación			
Nodo 1		Nodo 2	
Agua	Comida	Agua	Comida
1.69	0.00	0.49	0.31

Cuadro 5.4: Porcentajes de error en la visualización de peso

Capítulo 6

Evaluación

6.1. Análisis de resultados

- Observando los datos visualizados en la aplicación en la figura 6.1 mostrada en esta sección, se observa que las lecturas de las celdas de carga pueden llegar a variar hasta 4 gramos. Esta variación puede deberse a que los cables que conectan la celda de carga al módulo de acondicionamiento de señal HX711 tienen una longitud de 60 cm y no tienen protección contra el ruido como se ve en las figuras 5.1 y 5.4. Una solución a esto es remplazar los cables usados por un tipo de cable blindado contra el ruido o trasladar el módulo HX711 del Nodo Sensor al montaje de las celdas de carga directamente acortando la distancia que debe recorrer la señal analógica de este sensor, y con ello disminuir la sensibilidad al ruido obteniendo lecturas más estables. Cabe resaltar que de las 4 celdas de carga usadas en este proyecto, la que se muestra en la figura 6.1 fue la que presentó mayor variación en sus mediciones.
- La tabla 5.1 muestra que la calibración realizada a los sensores es suficiente para obtener datos confiables. Sin embargo, se ha de resaltar que la medición de la humedad es bastante susceptible a los cambios en ambiente como puede ser la respiración o una ventana abierta. En las pruebas realizadas se observó que el simple acercamiento de una persona al sensor puede afectar rápidamente el valor medido. En cuanto a la temperatura se puede afirmar que el sistema está dentro del margen de 1 °C de desviación respecto al valor real, lo que es aceptable para este sistema.
- Las imágenes del historial de datos para cada sensor de la figura 8.12 muestran que el sistema es estable a lo largo del tiempo. Dado que se llevan a cabo promedios para obtener los datos que son visualizados en la gráfica, se garantiza que una variación considerable en las gráficas representa una variación real en el ambiente y que debe ser tenida en cuenta.

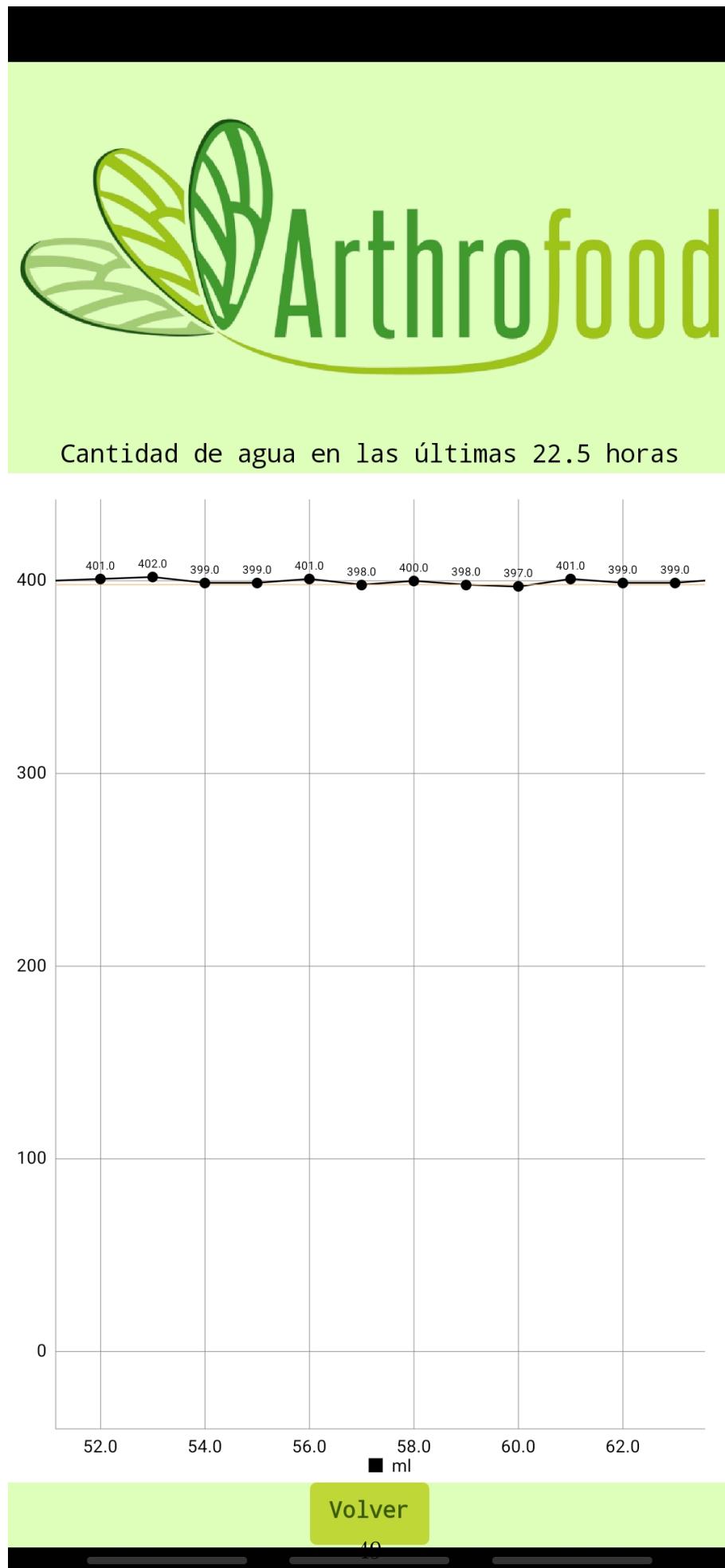


Figura 6.1: Medición de peso en el tempo

- En las pruebas llevadas a cabo de la comunicación entre el Nodo Central y la aplicación móvil se obtuvo el error por parte del ambiente de desarrollo de MIT APP, Inventor que se observa en la figura 6.2.



Figura 6.2: Error en la aplicación

Este error se genera cuando la aplicación intenta leer los datos recibidos, pero estos no han llegado completamente. La aplicación espera 736 datos en cada envío, pero como muestra la figura 6.2 en el momento en que intentó leer los datos, solo habían llegado 325. Cabe resaltar que este error ocurre con muy

poca frecuencia y no representa un impedimento para el funcionamiento de la aplicación o el sistema. En pruebas realizadas este error aparece de una a dos veces cada 3 horas.

6.2. Cumplimiento de objetivos

A partir de los objetivos específicos planteados al principio de este documento en la sección 1.3 y de todo lo mostrado hasta este punto, se puede afirmar que 4 de los 5 objetivos se cumplieron en su totalidad, a excepción de un objetivo que se cumplió parcialmente. Este objetivo es validar el sistema en la granja piloto, aunque el funcionamiento del sistema sí pudo ser validado, no se realizó esta validación en las instalaciones de la granja de Arthrofood dado que el cliente se encontraba en el exterior del país al momento de finalizado el prototipo del sistema.

Capítulo 7

Conclusiones

Teniendo en cuenta lo mencionado en el capítulo anterior, se concluye que el sistema funciona adecuadamente como se esperaba en un principio, teniendo en cuenta que se diseñó con componentes de bajo costo y fácil acceso. Cumple con el objetivo de permitir al usuario obtener información de las variables ambientales de manera rápida, sencilla y confiable desde la facilidad de su teléfono celular.

7.1. Aspectos para mejorar

Aunque este sistema fue diseñado para funcionar en modo Offline dado que en la ubicación en donde se planea instalar no hay conexión a internet, una mejora que se le puede realizar a este sistema de monitoreo es la capacidad de conectarse a internet. Logrando enviar los datos leídos por el sistema a un servidor Online, se facilitaría la visualización de éstos desde cualquier dispositivo que tenga la capacidad conectarse a esta red.

La herramienta en la que se diseñó la aplicación móvil para la visualización de datos de este proyecto facilita muchas funcionalidades, sin embargo, también limita muchas otras como por ejemplo el hecho de que si la aplicación es finalizada no podrá seguir ejecutándose en segundo plano. Esto limita a que solo se producirán alertas si la aplicación está abierta. Aunque hay soluciones desarrolladas por terceros para este problema, es preferible optar por otros entornos de desarrollo de aplicaciones que permitan tener mayor control sobre la aplicación. Por otro lado, también es importante resaltar que MIT APP inventor solo permite la implementación de aplicaciones para SO Android, dejando a un lado IOS. Por lo anterior la aplicación desarrollada en este trabajo es exclusiva para Android.

7.2. Reflexiones

Con este trabajo se ha demostrado el gran potencial que tiene la electrónica para facilitar muchas de las acciones que realizamos de forma manual en nuestro día a día. Lo mostrado en este trabajo puede ser aplicado en otras áreas de la producción animal o vegetal dada su sencillez y facilidad para implementar. Esperamos que este trabajo sirva de apoyo para futuros proyectos que estén relacionados con el IoT o sistemas embebidos.

Capítulo 8

Anexos

8.1. Diseño esquemáticos PCB

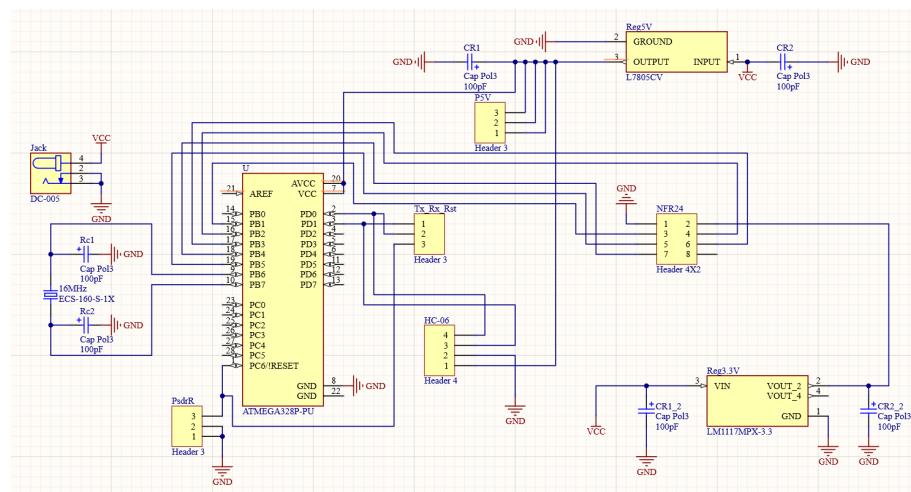


Figura 8.1: Esquemático nodo central

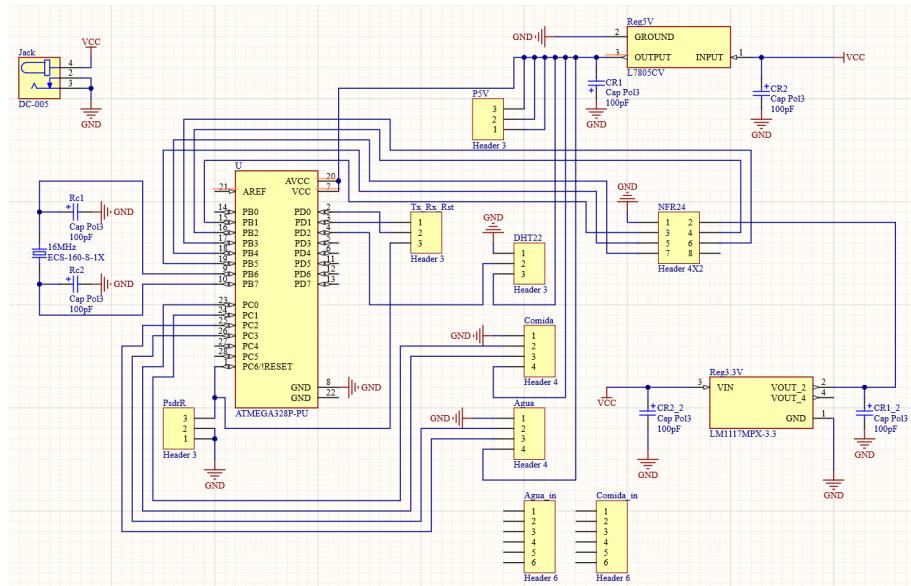
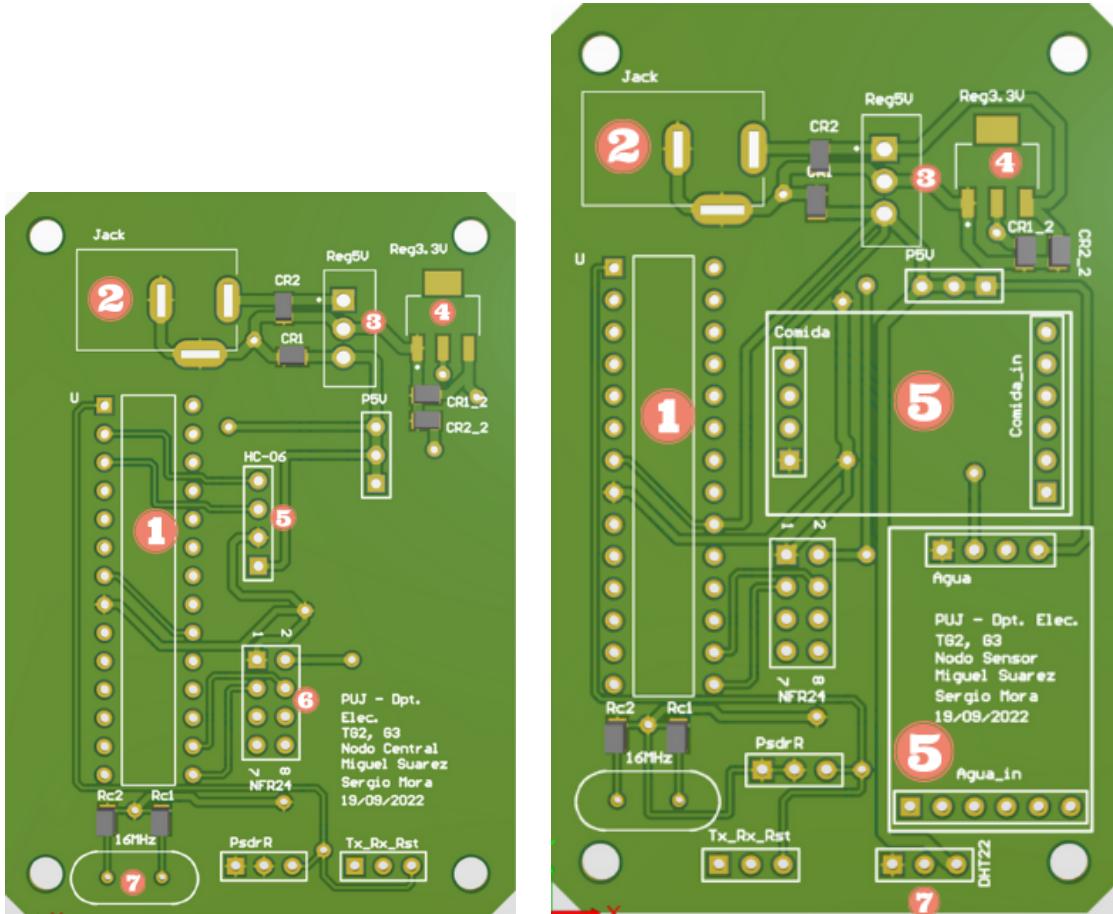


Figura 8.2: Esquemático nodo sensor

8.2. Diseño físico PCB



(a) PCB Nodo Central

(b) PCB Nodo Sensor

Figura 8.3: PCB para los dos tipos de nodos

8.3. Diseño empaque físico nodos

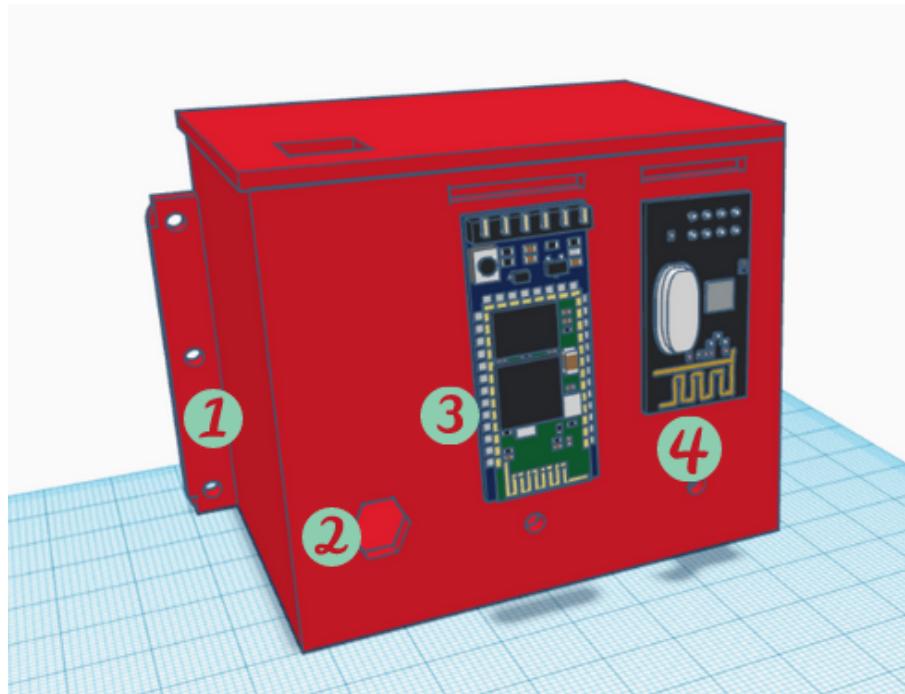


Figura 8.4: Caja Nodo Central

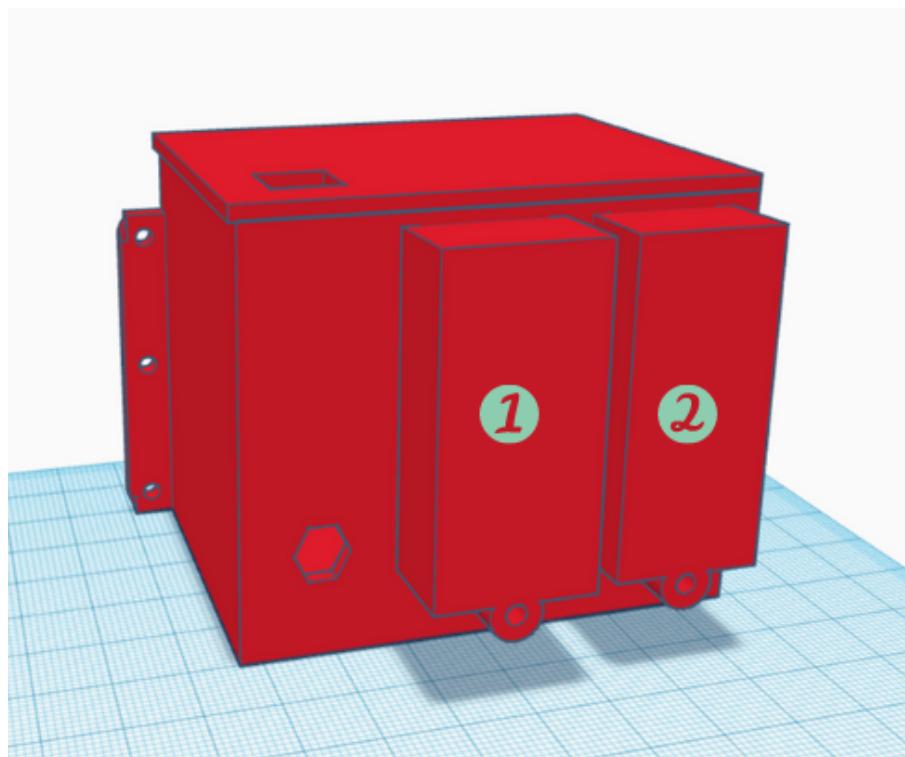


Figura 8.5: Caja Nodo Central Con Carcasas

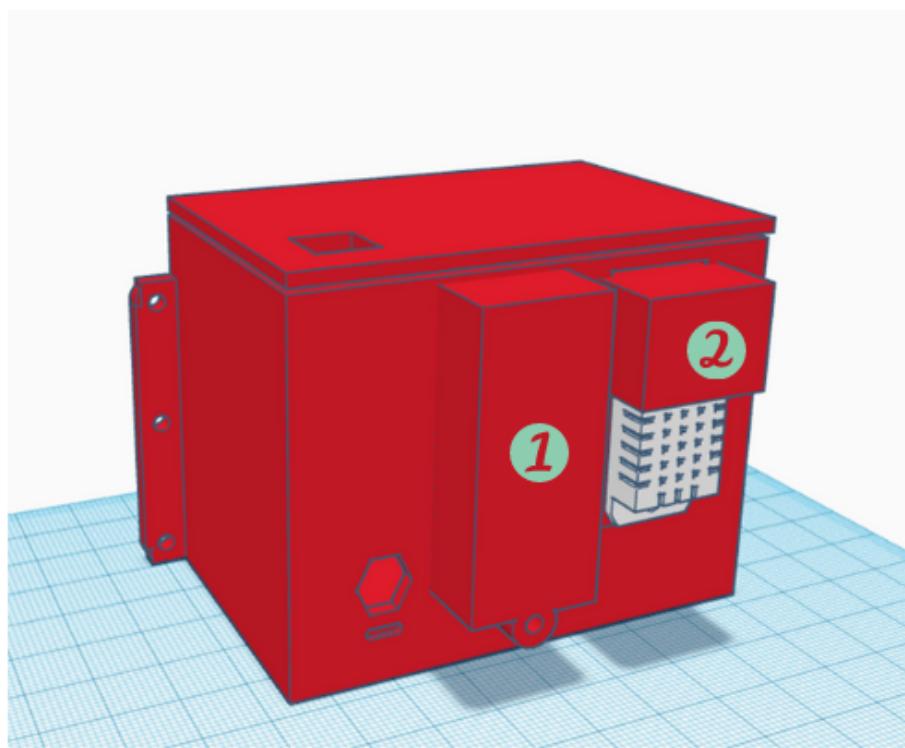


Figura 8.6: Caja Nodo Sensor con carcasa

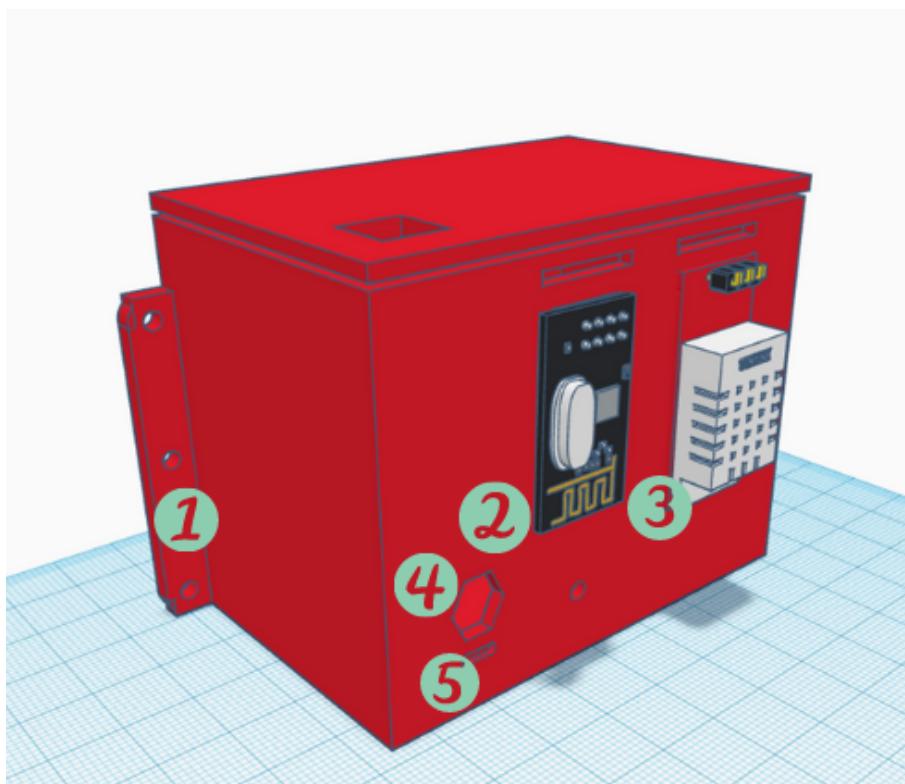
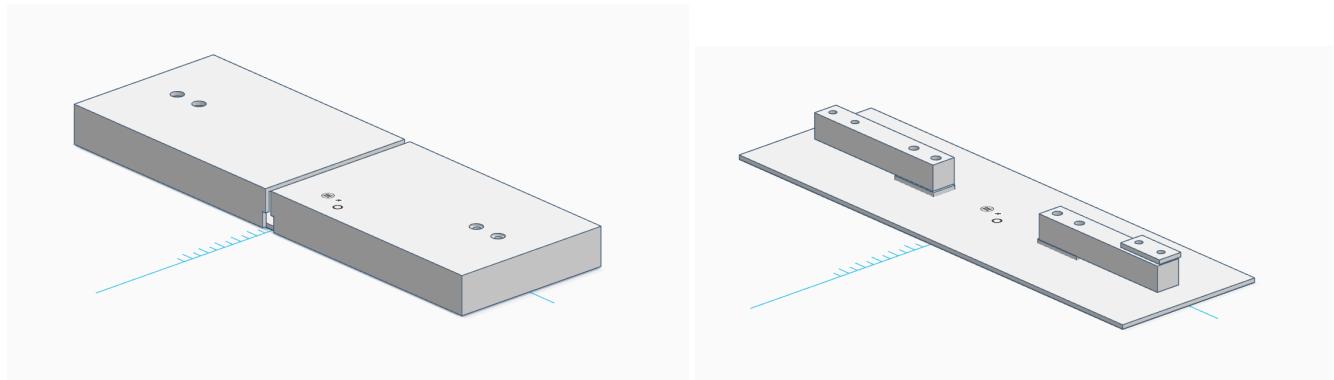


Figura 8.7: Caja Nodo Sensor

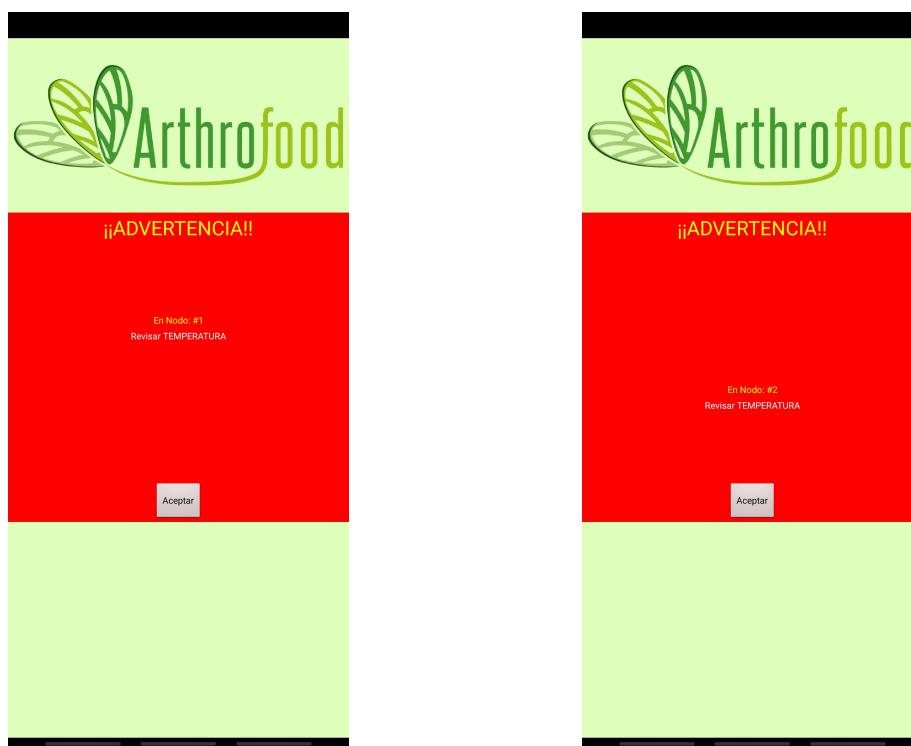
8.4. Diseño empaque físico celda de carga



(a) Montaje celda de carga, vista exterior.

(b) Montaje celda de carga, vista interior.

Figura 8.8: Montaje celda de carga



(a) Alerta por temperatura Nodo 1

(b) Alerta por temperatura Nodo 2

Figura 8.9: Alertas por temperatura Nodo 1 y 2



(a) Alerta por temperatura Nodo 1



(b) Alerta por temperatura Nodo 2

Figura 8.10: Alertas por humedad Nodo 1 y 2

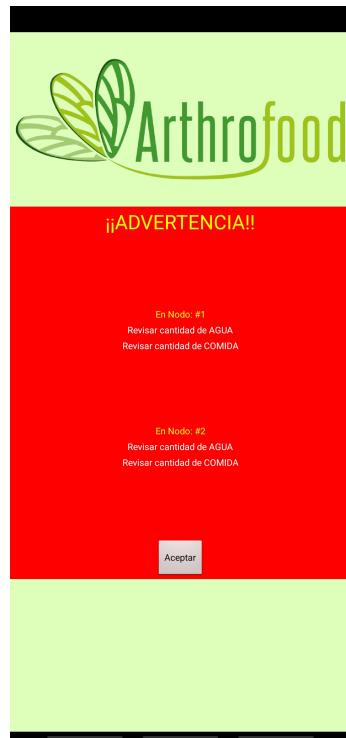


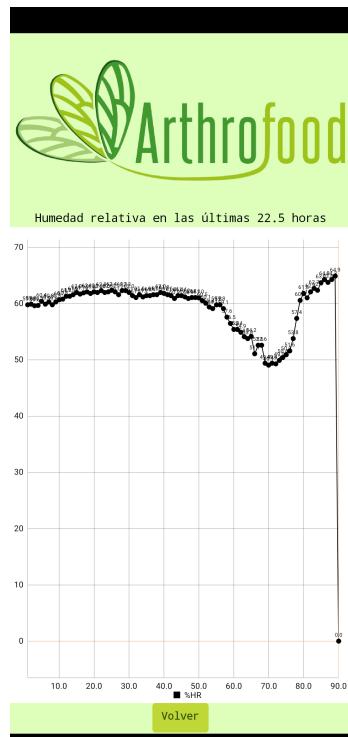
Figura 8.11: Alerta por cantidad de comida y agua Nodo 1 y 2



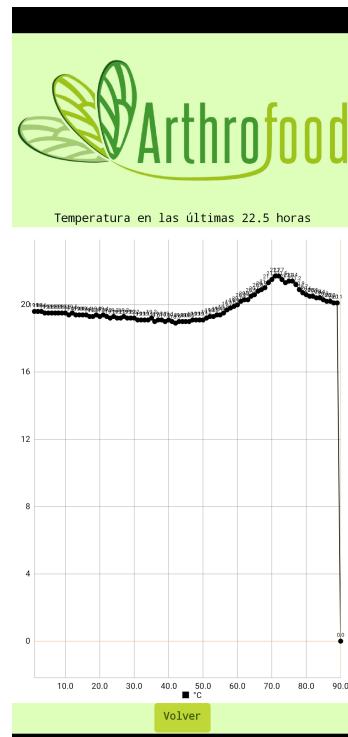
(a) Gráfica cantidad de agua nodo 1



(b) Gráfica cantidad de comida nodo 1



(c) Gráfica cantidad de humedad nodo 1



(d) Gráfica cantidad de temperatura nodo 1

Figura 8.12: Visualización de datos históricas en la aplicación móvil

Bibliografía

- [1] A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, and M. G. Rojas, *Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications*. Academic Press, 2016.
- [2] E. ECONOMISTA, “Ganadería sostenible.” Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Ganaderia-insostenible-20190815-0166.html> (15/7/2019).
- [3] A. C. Ravagli Castillo *et al.*, “Prospección de los insectos comestibles como fuente de proteína animal para el consumo humano,” 2021.
- [4] A. Hanboonsong and P. Durst, *Guidance on sustainable cricket farming—a practical manual for farmers and inspectors*. Food & Agriculture Org., 2020.
- [5] D. Cruz Fagua, H. Arévalo Arévalo, *et al.*, “Artrópodos. producción de grillos de forma sustentable.”
- [6] BBVA, “¿qué es la agricultura de precisión? la gestión digital del campo.” Disponible en <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-agricultura-de-precision-la-gestion-digital-del-campo/> (26/10/2022).
- [7] T. M. Bandara, W. Mudiyanselage, and M. Raza, “Smart farm and monitoring system for measuring the environmental condition using wireless sensor network-iot technology in farming,” in *2020 5th International Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA)*, pp. 1–7, IEEE, 2020.
- [8] J. G. Bea and J. S. D. Cruz, “Chicken farm monitoring system using sensors and arduino microcontroller,” in *Proceedings of the 9th International Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 1–4, 2019.
- [9] K. L. León-Merchán, O. A. Sánchez-Calderón, *et al.*, “Sistema de monitoreo de variables ambientales en cultivos de papa mediante iot y energía solar fotovoltaica,” 2020.
- [10] M. M. Miranda-Ramos, A. A. Ortiz, and L. A. Moreno, “Sistema de monitoreo usando tecnología xbee y gsm para la supervisión del clima en la producción de plátano,” *Información tecnológica*, vol. 31, no. 6, pp. 69–76, 2020.
- [11] K. D. Noriega Viera, “Sistema de monitoreo remoto para mediciones de variables ambientales en cultivos hidropónicos con tecnología inalámbrica zigbee,” 2019.

- [12] DFROBOT, “Sku-sen0193.” Disponible en https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193 (26/10/2022).
- [13] M. Abhiram, J. Kuppili, and N. A. Manga, “Smart farming system using iot for efficient crop growth,” in *2020 IEEE International Students’ Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, pp. 1–4, IEEE, 2020.
- [14] C. A. Jamhari, W. K. Wibowo, A. R. Annisa, and T. M. Roffi, “Design and implementation of iot system for aeroponic chamber temperature monitoring,” in *2020 Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)*, pp. 1–4, IEEE, 2020.
- [15] M. F. A. Samsudin, R. Mohamad, S. I. Suliman, N. M. Anas, and H. Mohamad, “Implementation of wireless temperature and humidity monitoring on an embedded device,” in *2018 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, pp. 90–95, IEEE, 2018.
- [16] J. Choi, D. Lim, S. Choi, J. Kim, and J. Kim, “Light control smart farm monitoring system with reflector control,” in *2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 69–74, IEEE, 2020.
- [17] T.-M. Piamba-Mamian, L. E. Zambrano, L. A. Montaño-Ruales, and F. A. Rojas-González, “Implementación de un sistema de monitoreo iot aplicado a una piscicultura de trucha,” *Informador técnico*, vol. 85, no. 1, pp. 3–19, 2021.
- [18] A. García de Lis, “Granja de grillos para el consumo humano.” Disponible en <https://www.agropopular.com/granja-grillos-300720/>.
- [19] A. Halloran, Y. Hanboonsong, N. Roos, and S. Bruun, “Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern thailand,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, pp. 83–94, 2017.
- [20] A. van Huis, J. V. Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir, and P. Vantomme, “Edible insects: future prospects for food and feed security,” *FAO Forestry paper*, no. 171, 2013.
- [21] M. F. A. Samsudin, R. Mohamad, S. I. Suliman, N. M. Anas, and H. Mohamad, “Implementation of wireless temperature and humidity monitoring on an embedded device,” in *2018 IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, pp. 90–95, 2018.
- [22] A. Van Huis, “Potential of insects as food and feed in assuring food security,” *Annual review of entomology*, vol. 58, pp. 563–583, 2013.
- [23] EncuRed, “Gryllodes sigillatus.” Disponible en https://www.ecured.cu/Gryllodes_sigillatus (25/10/2022).
- [24] S. Pasricha, “Embedded systems education: Experiences with application-driven pedagogy,” *IEEE Embedded Systems Letters*, pp. 1–1, 2022.
- [25] T. D. G. Frank Vahid, *Embedded System Design: A Unified Hardware / Software Introduction*. John Wiley & Sons Inc., 1 ed., 2002.

- [26] E. Cabriles, “Microcontroladores-introduccion pic.” Disponible en https://www.academia.edu/31338008/Microcontroladores_introduccion_pic (25/10/2022).
- [27] R. P. Areny, *Sensores y acondicionadores de señal*. Marcombo, 2004.
- [28] S. Beeby, G. Ensel, N. M. White, and M. Kraft, *MEMS mechanical sensors*. Artech House, 2004.
- [29] E. Gaura and R. Newman, *Smart MEMS and sensor systems*. World Scientific, 2006.
- [30] R. Bogue, “Mems sensors: past, present and future,” *Sensor Review*, 2007.
- [31] P. Gokhale, O. Bhat, and S. Bhat, “Introduction to iot,” *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 41–44, 2018.
- [32] Cisco, “Cisco annual internet report.” Disponible en <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf> (25/10/2022).
- [33] I. A. Zuloaga, A. J. Jiménez, A. J. Lázaro, V. C. Cuadrado, and P. U. Bidarte, “Definición de máquinas de estados, eventos y acciones en pequeños procesadores,” in *Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica: Actas del XIII Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica, Tenerife, 20-22 de junio, 2018*, pp. 254–262, Universidad de La Laguna, 2018.
- [34] MIT, “Mit app inventor, about us.” Disponible en <https://appinventor.mit.edu/about-us>.