

TRABAJO DE GRADO

**PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ALMACENAR
RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS**

26 de enero 2022

Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Electrónica

Universidad del Quindío

PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ALMACENAR RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

JHONATTAN RESTREPO HERNANDEZ

JOEL SOTO HIDALGO

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

FACULTA DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ARMENIA

2022

PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ALMACENAR RESIDUOS
ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

INFORME FINAL

JHONATTAN RESTREPO HERNANDEZ

Código: 1097039899

jrestrepoh@uqvirtual.edu.co

JOEL SOTO HIDALGO

Código: 1094963469

bjsotoh@uqvirtual.edu.co

Director: Luis Miguel Capacho Valbuena

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO

FACULTA DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ARMENIA

2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, digo a Dios gracias, por la vida, las noches y los días.

A mi madre, por enseñarme a ser un hombre.

Y a mi padre, por dejarme las mejores lecciones de mi vida.

No valdrá más la pena luchar por algo que no tiene destino sin saber que lo forjamos con el paso del efímero tiempo.

J.S.

Gratias tibi.

Tabla de Contenido

RESUMEN.....	8
OBJETIVOS	9
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL	15
2.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MQTT	15
2.2 BROKER MOSQUITTO	15
2.3 NODE-RED.....	16
2.4 BASE DE DATOS SQLITE.....	16
2.5 SENSOR LASER VL53L0X.....	17
2.6 SENSOR DE GAS METANO MQ4	18
2.7 ACTUADOR.....	18
2.8 IOT	19
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN	21
3.1 SECCIÓN MECÁNICA.....	21
3.2 SECCIÓN DIGITAL	31
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	38
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	45
CAPÍTULO 6: TRABAJOS FUTUROS.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

Tabla de Figuras

Figura 1. Modelo publicación/suscripción MQTT [9].	16
Figura 2. Sensor VL53L0X [14].	17
Figura 3. Sensor MQ4 [15].	18
Figura 4. Actuador [16].	19
Figura 5. Raspberry Pi 4 [18].	20
Figura 6. Modelo teórico de componentes mecánicos del soterrado.	252
Figura 7. Modelo teórico para el sistema electrónico del soterrado.	253
Figura 8. Modelo teórico del sistema mecánico del soterrado.	254
Figura 9. Diseño dimensional del sistema propuesto.	275
Figura 10. Ubicación de los actuadores del prototipo.	256
Figura 11. Circuito esquemático de sensores del sistema.	287
Figura 12. Board del circuito de sensores del sistema.	28
Figura 13. Circuito esquemático de actuadores del sistema.	298
Figura 14. Board del circuito de actuadores del sistema.	249
Figura 15. Distribución de almacenaje de residuos.	330
Figura 16. Plataforma de ascenso y descenso de residuos.	320
Figura 17. Estructura física del prototipo automatizado.	301
Figura 18. Modelo ideológico de software del prototipo.	302
Figura 19. Ejemplificación de las conexiones digitales del sistema.	314
Figura 20. Nodos de acceso al Dashboard.	395
Figura 21. Nodos de control de la plataforma.	406
Figura 22. Nodos de visualización de datos en el Dashboard.	417
Figura 23. Nodos de visualización de históricos de sensores en el Dashboard.	347
Figura 24. Nodos de base de datos SQLite.	358
Figura 25. Alojamiento de residuos y mecanismos del sistema.	370
Figura 26. Prototipo automatizado de almacenaje de residuos.	361
Figura 27. Función de ascenso de la plataforma.	362
Figura 28. Inicio de sesión en el Dashboard web.	42

Figura 29. Visualización de información en el Dashboard web.....	42
Figura 30. Histórico de sensores en Dashboard web.....	43
Figura 31. Base de datos SQLite.....	44

RESUMEN

A los comportamientos de los seres humanos le subyace la necesidad de desechar residuos; debido a esto, tales elementos pueden repercutir en la decadencia de la calidad de vida y una imagen de mal aspecto producto de la alta contaminación y demás cuestiones acerca del acopio de los mismos, es decir, donde los residuos son inicialmente acumulados por los ciudadanos en cuestión antes de la recolección por parte de las entidades pertinentes, repercutiendo en una problemática latente para la actual sociedad.

Derivado de lo anterior, se concibe la idea de desarrollar un prototipo de sistema para almacenar residuos, con el fin de mitigar la problemática mencionada. Este sistema consiste de un soterrado que funciona como almacenador de los residuos en cuestión y demás relacionados. Cada desecho se aloja en el interior del soterrado mediante los receptáculos de depósito, los cuales emergen y sumergen por la acción de dos pistones controlados mediante la implementación de un sistema embebido específico haciendo uso del concepto de internet de las cosas (IoT); de igual forma, este sistema presenta una serie de sensores de monitoreo en función de su control y automatización. A causa de lo anteriormente expuesto, el sistema en conjunto con los métodos de control por la red y su modelo estructural hace alusión a una variante ante el modelo de almacenamiento de desechos tradicional.

En este sentido, a lo largo del desarrollo del presente dispositivo, se evidencia la relevancia que toman los sistemas digitales implementados en este tipo de iniciativas en pro del medio ambiente. De igual forma, cómo estos mismos se pueden adaptar a las diferentes necesidades presentadas y de este modo disponer y enfatizar su utilidad ante una problemática latente.

Palabras clave: Automatización, dashboard, internet de las cosas (IoT), manejo de residuos, sistema embebido, soterrado.

OBJETIVOS

GENERAL

Implementar un sistema automatizado para el almacenamiento de residuos orgánicos e inorgánicos.

ESPECÍFICOS

- Construir el soterrado que cumpla con el propósito de almacenaje de residuos.
- Realizar una etapa de instrumentación para el funcionamiento del sistema.
- Analizar la información obtenida de los diferentes sensores para llevar a cabo la automatización.
- Desarrollar un modelo de software online que reciba, almacene y visualice la información sensorial periódica del prototipo.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Actualmente algunos sitios de diversos barrios de la ciudad de Armenia se han convertido en basureros, tal y como lo argumenta en LA CRÓNICA el día 24 de diciembre de 2016 en un recorrido por los barrios, para evidenciar la falta de comportamiento cívico y de cultura ciudadana [1]. De lo anterior se recalca la problemática que se vive en diferentes barrios de Armenia, por el uso inadecuado de las calles y andenes para el depósito de residuos en horarios no establecidos para la recolección de los mismos, basándose en pruebas recolectadas en zonas de la ciudad. Además de estos comportamientos, se le agrega la dificultad para la recolección de basuras en estas zonas debido a la existencia de días asignados para esto y la ciudadanía que produce demasiados residuos.

En consecuencia, se observa en Armenia la carencia de sistemas automatizados de almacenamiento de residuos, el cual permita introducir desechos orgánicos e inorgánicos que se acopian de las casas y demás inmediaciones. Dichos desechos se constituyen en un problema ambiental dentro de las zonas aledañas a las residencias y demás ubicaciones. Teniendo esto en cuenta, se relaciona la necesidad tecnológica del sistema de recolección para los desechos.

Tomando como referente de la investigación actual, es menester tener en consideración una serie de trabajos y modelos de soterrados relevantes, los cuales ilustran la actualidad de esta tecnología que considera el proyecto en la presente propuesta y cómo estos son alusivos para el sistema que se propone.

La problemática de las basuras se encuentra en la falta de cultura ciudadana, de acuerdo a una encuesta por caracol radio a diferentes entidades gubernamentales y a la sociedad en general [2]. Esta encuesta reveló que la ciudadanía deposita los desechos en horarios que no se encuentra disponible el vehículo para su recolección. Adicionalmente, la sociedad indica que los recolectores no acopian adecuadamente los residuos, por lo que se derivan las diferentes plagas, contaminación visual y ambiental.

Lo anterior se puede mitigar significativamente por medio del sistema automatizado para almacenar desechos orgánicos e inorgánicos, ya que este tiene la capacidad para acumular cantidades significativas de la misma en un lugar aislado de las diferentes plagas; controlando así esta preocupante situación que abarca en gran parte de Colombia y especialmente en la ciudad de Armenia.

Por otro lado, en Colombia se cuenta con un sistema de recolección llamado “basura cero” el cual se ha determinado que no funciona satisfactoriamente ya que se producen 11 millones de toneladas de basura al año (31.000 toneladas diarias) [3]; de las cuales menos del 10% se reciclan y el 85% son destinados a los rellenos y mezclados sin ningún tratamiento; en pocas palabras, se desechan.

Derivándose de contenedores soterrados existe un avance considerable en el continente europeo, ya que estos han implementado receptáculos en masa para la recolección de residuos orgánicos e inorgánicos, puesto que representan un peligro para la sociedad, generando epidemias y demás; de este modo, se puede recopilar diferentes artículos de proyectos realizados en España como Alcobendas (“un modelo de ciudad”) [4]. Este proyecto tuvo como objetivo principal instalar contenedores soterrados para la recolección de residuos reciclables como el papel y vidrio. En este mismo país se han generado distintos proyectos con base a lo anteriormente dicho. Continuando con esta iniciativa (Alcobendas), que a causa de la identificación de usuarios en la recolección de residuos (2019), busca identificar al usuario y cobrarle un impuesto por la cantidad de desechos que genera.

En Colombia se han implementado pocas islas ecológicas o contenedores soterrados, respecto a la dimensión del país, tal y como es el caso de Barranquilla [5], la cual busca mitigar la problemática de basuras urbanas. Lo anterior intenta almacenar los desechos generados en las viviendas un determinado tiempo en pro y beneficio de la comunidad.

Se establece el sistema como tal, el cual comprende distintos mecanismos que se pueden dividir en dos secciones, la primera se deriva de una sección mecánica y la segunda de software para el control de la plataforma. Por consiguiente, se inicia hablando de la primera sección.

Para empezar, esta primera división mecánica se conforma de un conjunto de elementos para la formación de un esqueleto sólido que tiene como principal material los pistones, los cuales con una ubicación estratégica permiten que la estructura emerja o se sumerja; con base a la utilización de estas piezas en el soterrado se determina como lo más apropiada para esta tarea en específico. También, se encuentran mecanismos con tornillos sin fin y tijeras. La empresa formato verde, la cual se dedica a la fabricación de estos dispositivos muestra dos sistemas que utilizan como los más infalibles; otra de las formas utilizadas es por medio de cestos movibles donde un brazo robótico implementado en el vehículo recolector realiza las funciones como lo lleva a cabo la empresa underground container systems [6].

Por otro lado, el sistema automatizado basa su funcionalidad a través de internet, es decir, utiliza protocolos de comunicación dentro del sistema propiamente dicho para enviar información de los sensores de concentración de los contenedores y gas metano, como también recibir órdenes de emerger y sumergir los subcontenedores que alojan los diferentes residuos. De lo anteriormente mencionado, no se encuentran aplicaciones en soterrados, pero la empresa Sacyr servicios está implementando islas ecológicas que evacúan los residuos automáticamente por medio de tuberías cuando se ordena desde una computadora [7].

Considerando los modelos de soterrados que ejemplifican un estándar de uso y beneficio de los mismos, es así como estos sistemas son un gran referente hacia la mitigación de la problemática planteada al hecho de la acumulación de basuras en áreas urbanas. Por consiguiente, se implementó un prototipo basado en sistemas digitales que tiene la capacidad de almacenar residuos orgánicos e inorgánicos, medir su concentración periódicamente y tomar acción sobre los contenedores mediante el uso de sensores y recursos digitales. Lo anterior se realizó con algoritmos de programación en el dispositivo mismo a utilizar. Mediante la automatización, el sistema recibe toda la información para interactuar con un Dashboard web, donde se puede visualizar toda la información que recolecta el sistema embebido, de este modo se obtiene un registro de lo que sucede en el sistema para la toma de decisiones por parte del usuario entre emerger y sumergir la plataforma que contiene los desechos como se propone.

En función de obtener la capacidad de cada contenedor de residuos, se hace uso del sensor por medición láser GY-530, que constantemente mide la capacidad disponible en el sistema, para de tal modo alertar y obtener el seguimiento de dicho aspecto. Este proceso se asigna a cada espacio dentro del recipiente, con desechos orgánicos e inorgánicos; clasificados dentro del sistema en sí. Asimismo, ante la prevención de gas metano que se pueda acumular al interior del dispositivo, se opta por medir dicha concentración mediante el sensor MQ4, para determinar una posible toxicidad. Un aspecto relevante, teniendo en cuenta que el propósito inicial del proyecto es el uso de internet, específicamente para la transmisión de la información recolectada por los diferentes sensores en uso, usando una placa Raspberry Pi 4 modelo B que funciona como intérprete entre los datos recolectados y su posterior tratamiento y visualización en la red. Este conjunto de información anteriormente expuesta, como las acciones a tomar en el sistema, se visualizan en una plataforma web, para lo cual, dicho desarrollo es mediante la plataforma Node-RED, en función de nodos *dashboard* que permiten la ejecución de la interfaz planificada.

Asimismo, en una estructura de dimensiones específicas, se ubican las diferentes partes del soterrado que corresponden al contenedor, pistones de movimiento lineal, que suministra la fuerza necesaria para ejercer los movimientos de ascender y descender la plataforma.

Además, el dispositivo posee en una ubicación estratégica un dispositivo de control ante cualquier posible contingencia, es decir, tener la disponibilidad de lograr ascender y/o descender la plataforma sin la interacción de la plataforma web o cualquier medio que requiera conexión a internet o similar.

Por último, se estipula el contenido del presente documento. Inicialmente comprendido con el resumen, donde se refiere someramente a los aspectos clave en el desarrollo del proyecto, indicando la intención del mismo y sus resultados. Posteriormente se encuentra el Capítulo de Introducción, donde se amplían los conceptos teóricos fundamentales en el proceso del proyecto, desde la problemática abordada, motivación, entre otros. Seguidamente, en el Capítulo de Marco Conceptual, se abarca en los medios técnicos utilizados en la estructuración del prototipo, teniendo en cuenta su relevancia dentro del mismo y su utilidad tecnológica. En Capítulo de Implementación se discuten los procesos mediante los cuales se ha ejecutado el prototipo planteado, es decir, que técnicas o metodologías se implementaron con el fin de realizar dicho dispositivo en sus diferentes etapas. En el Capítulo de Resultados se infiere en la validación de los aspectos mecánicos y digitales del prototipo, siendo el desempeño de la etapa de instrumentación en conjunto con la

unificación de los diferentes sensores y el desarrollo de la plataforma web para el control del dispositivo. Para terminar, se detalla en el capítulo de conclusiones y trabajos futuros, la serie de posibles adiciones de futuras investigaciones al presente proyecto, con el fin de tenerlos en cuenta e impulsarlo hacia un desarrollo posterior.

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

Dentro del conjunto de partes que conforman el prototipo (específicamente de hardware) se encuentran los pistones, el cual funciona a base de presión hidráulica para ejercer movimiento. De este modo, posee gran beneficio en su precisión y modo de control. De igual forma, se encuentra la cápsula del prototipo en cuestión, la cual se conforma de un cubo hecho de metal resistente ante golpes y demás. Y como dispositivo de conexión a internet y transmisor de datos, se encuentra la placa de desarrollo Raspberry Pi 4 modelo B [8]. El sistema automatizado hace uso de una serie herramientas de software que permite su plena funcionalidad con base a medios vía internet, específicamente, implementando protocolos y plataformas para la manipulación y visualización de la información pertinente al soterrado.

2.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MQTT

Por sus siglas, Message Queue Telemetry Transport, este protocolo hace referencia al tipo o protocolo de comunicación Machine To Machine (M2M) [9]. Derivado de lo anteriormente mencionado, la configuración para la actual aplicación es en la arquitectura publicación/suscripción, donde cada mensaje se envía a los diferentes receptores a su vez suscritos a los tópicos o filtros de envío y recepción de mensajes en cuestión, de dicho modo, establecer la conexión entre las diferentes partes y transmitir la información propia de sensores utilizados hacia los clientes. Cada publicación (envío de información), se conoce como *topic*, donde los diferentes entornos necesarios (visualización, bases de datos, entre otros) se suscriben para así tener acceso a dicha información o publicación.

2.2 BROKER MOSQUITTO

El *broker* es el encargado de redirigir todas las diferentes publicaciones a sus correspondientes suscriptores [10]. Teniendo en cuenta el protocolo de comunicación MQTT, es menester tener en ejecución el broker, en este caso Mosquitto, mediante el cual se establecen los diferentes tópicos para el sistema tratado. Este a su vez, debe mediar entre los clientes suscritos a dichos tópicos en el proceso de enviar y recibir información, siendo el envío de los valores de concentración de residuos y partículas de metano entre la información tratada con tal modelo mencionado. Cómo se logra evidenciar en la Figura 1, se ejemplifica el modelo de

publicación-suscripción en este tipo de broker, siendo la lectura de sensores determinados para su posterior tratamiento y se puede acceder a esta información desde cualquier dispositivo con conexión a internet y las credenciales pertinentes como dirección IP alojada al broker y demás.

MQTT Publish / Subscribe Architecture

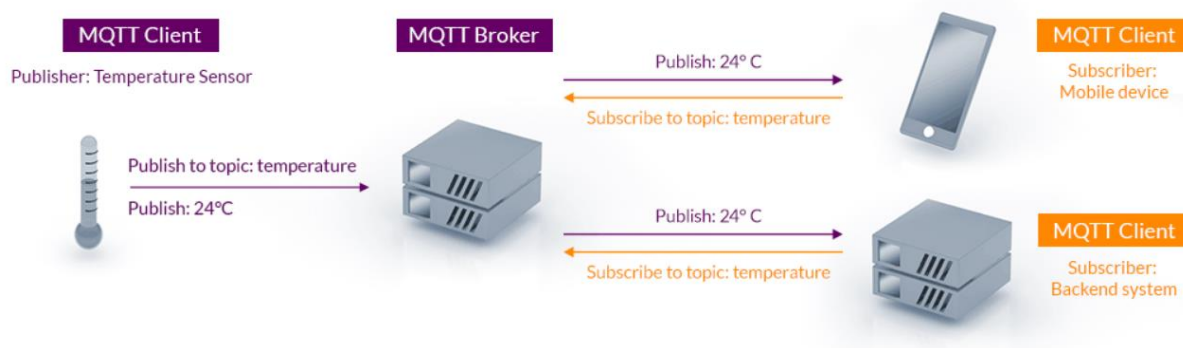


Figura 1. Modelo publicación/suscripción MQTT [9].

2.3 NODE-RED

Node-RED es una herramienta para conectar diferentes elementos de hardware y aplicaciones de software de forma sencilla a través de una interfaz web [11]. En este entorno de desarrollo es donde se codifica la interfaz gráfica del proyecto; como se conoce, dicho proceso es mediante la implementación de los diferentes nodos de conexión que la plataforma provee, siendo relevante el nodo *dashboard*. Además de lo anterior, en Node-Red se implementa la interconexión de los diferentes sensores a utilizar, como la comunicación con la Raspberry Pi 4 y la base de datos. Teniendo esto en cuenta, es una herramienta funcional teniendo en cuenta los ideales del proyecto planteados.

2.4 BASE DE DATOS SQLITE

Para el almacenamiento periódico de la información procedente de los diferentes sensores dentro del sistema, se incorpora la base de datos de SQLite [12], en este caso, desde la propia contribución para Node-RED, de dicho modo, y de antemano unificando ambas plataformas. La conexión y uso de dicha base de

datos, es en función de sus nodos en Node-RED y su configuración radica en su *topic* y ubicación de almacenamiento dentro de la Raspberry Pi 4.

2.5 SENSOR LÁSER VL53L0X

Basado en el chip VL53L0X [13], este sensor es capaz de medir la distancia de un objeto en curso en función de su láser (rectángulo de color negro) infrarrojo integrado y su respectivo receptor. Dicho sensor determina la distancia entre la longitud máxima y los residuos en cuestión alojados en cada contenedor de residuos, obteniendo la distancia actual y la capacidad restante de dichos contenedores. En la Figura 2, se observa el aspecto general del sensor anteriormente detallado, el cual se implementa en el sistema teniendo en cuenta su tipo de conexión I²C y su tamaño reducido, especialmente útil para las necesidades presentes del prototipo.

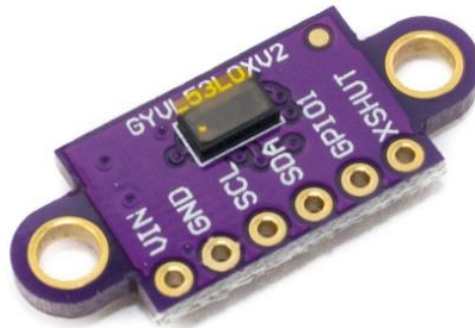


Figura 2. Sensor VL53L0X [14].

2.6 SENSOR DE GAS METANO MQ4

El sensor semiconductor MQ4 funciona a través de un resistor variable (CH_4), cuyo valor resistivo depende de la concentración de metano en el aire y un calefactor [15]. Una fuente independiente proporciona la alimentación para el calefactor, mientras que la resistencia de carga se conecta en serie con el resistor variable, donde la señal de salida del sensor corresponde al voltaje de carga. Este sensor (observable en la Figura 3) se incorpora al sistema teniendo en cuenta sus características de conexión sencilla y fácil acceso a las muestras de datos a través de un ADC. De tal modo se presenta el ingreso de diferentes residuos que a su vez emiten gases contaminantes, que pueden ser perjudiciales para el sistema y para quien lleve su respectivo mantenimiento.



Figura 3. Sensor MQ4 [15].

2.7 ACTUADOR

Como actuador aplicable a las funciones requeridas para el pleno funcionamiento del prototipo, se consolida el uso de pistones eléctricos, evidenciado en la Figura 4. Este cilindro consiste en dos piezas fundamentales como lo es el cilindro y un pistón. El primero se encuentra sellado por la parte inferior mientras que por el fragmento superior tiene una cavidad por donde hace contacto su segundo elemento con el cuerpo a movilizar; dado lo anterior, mediante un motor de 12V DC [16]. Este dispositivo se implementa en las dos acciones del sistema, es decir, ascender o descender la plataforma de los contenedores con residuos según sea la orden del usuario.



Figura 4. Actuador [16].

2.8 IOT

El concepto de internet de las cosas (IoT- Internet of things) se integra en el prototipo con el fin de añadir un grado de control mediante el uso de internet, paralelo a los estándares actuales y versatilidad de los mismos [17].

Por consiguiente, se encuentra el *Broker Mosquitto*, el cual es un Broker de código libre desarrollado por el proyecto Eclipse. Este *Broker* se encarga de dirigir las publicaciones a su correspondiente suscriptor, cada bucle de información que se transmita es dirigido a cada usuario en particular sin paralelismos o desviaciones hacia otros usuarios.

Teniendo en cuenta la importancia del uso de internet en este proyecto, se utiliza una tarjeta Raspberry Pi 4 modelo B para la ejecución del sistema embebido necesario del sistema en conjunto con los diferentes elementos de hardware como sensores y actuadores pertinentes para el adecuado funcionamiento del

prototipo. Como se observa en la Figura 5, la tarjeta dispone de las características necesarias, entre ellas están los puertos de propósito general donde se conectan los diferentes sensores planteados para su posterior procesamiento y visualización. De igual forma, posee conectividad Wi-Fi haciéndola versátil ante espacios donde no se cuente con una conexión Ethernet.

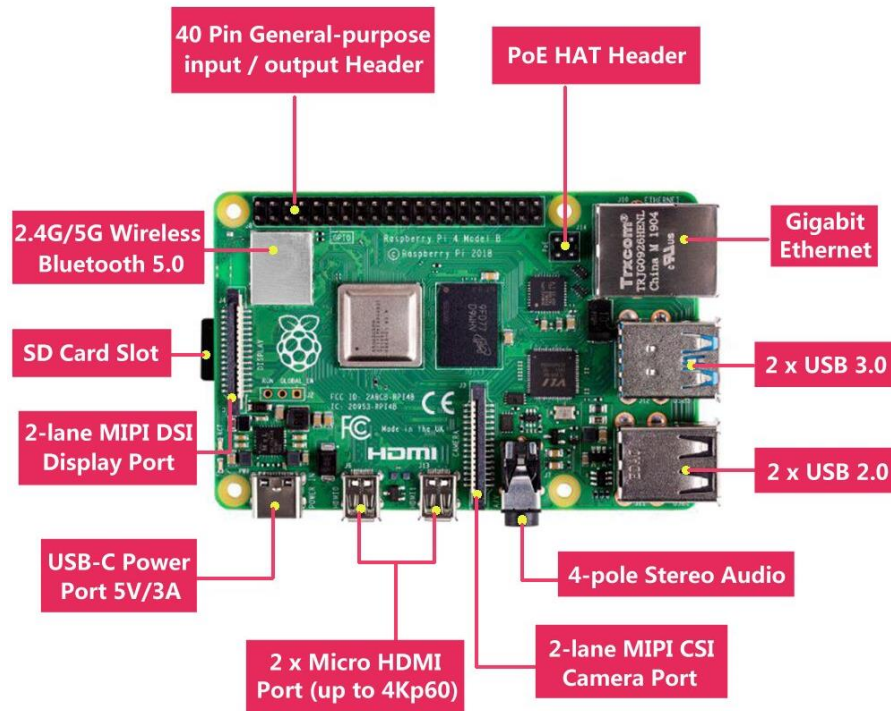


Figura 5. Raspberry Pi 4 [18].

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN

En primera instancia, se propone el sistema automatizado para almacenar residuos orgánicos e inorgánicos en ligado al concepto de internet de las cosas, siendo un conjunto de partes que logrado su objetivo ayuda en el almacenamiento de desechos dentro de cuatro contenedores, de este modo facilita la separación de residuos y su posterior control por parte de las entidades encargadas al respecto. Con lo anterior en mente, el dispositivo en cuestión se constituye en dos facciones principales; siendo la sección mecánica y digital detalladas a continuación.

3.1 SECCIÓN MECÁNICA

Esta sección del proyecto, hace referencia a las dependencias estructurales, eléctricas y electrónicas del sistema tratado, así mismo, su implementación y funcionamiento. Como eje central del sistema propuesto se encuentra: estructura cúbica, depósitos de residuos o subcontenedores, ubicación de sensores, actuadores y suministro eléctrico. A fin de representar de forma amigable la información mencionada en el ámbito mecánico del sistema y globalizar esta implementación, se estructuran una serie de modelos conceptuales para los aspectos, electrónicos, mecánicos y la concepción de la sección mecánica general. En primera instancia, se presenta en la Figura 6 el modelo de componentes mecánicos del prototipo, en donde se establecen las disposiciones físicas, como el tipo de material y dimensiones, además de la estructuración del sistema de ascenso y descenso de la plataforma, entre otros.

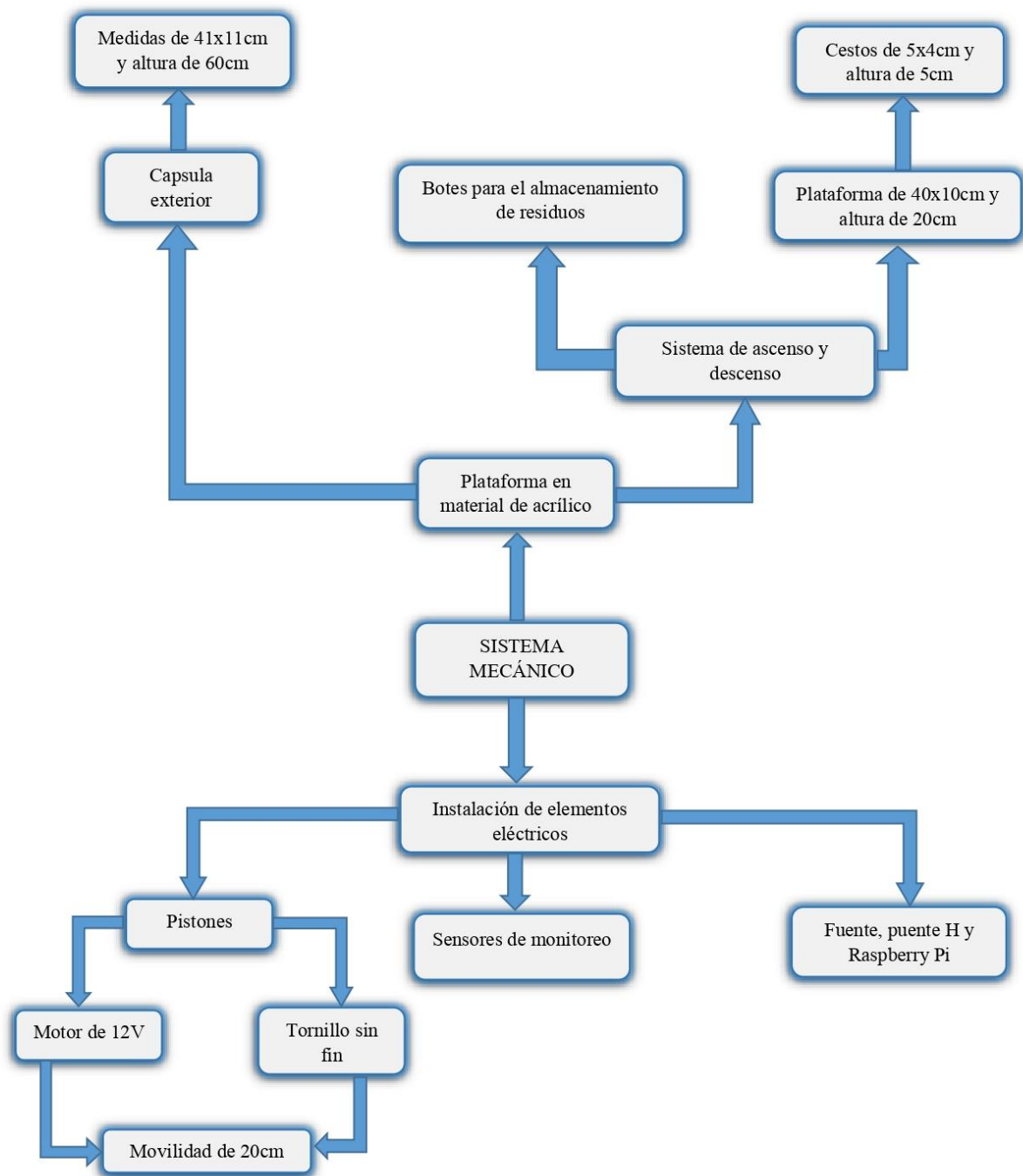


Figura 6. Modelo teórico de componentes mecánicos del soterrado.

Análogo a lo previamente mencionado, la Figura 7 contempla el modelo teórico de los aspectos electrónicos previsto para la implementación del prototipo, en el cual se evidencia las adecuaciones de los sensores láser,

MQ4 y actuadores con sus correspondientes funcionalidades, a su vez con demás elementos para su pertinente funcionamiento.

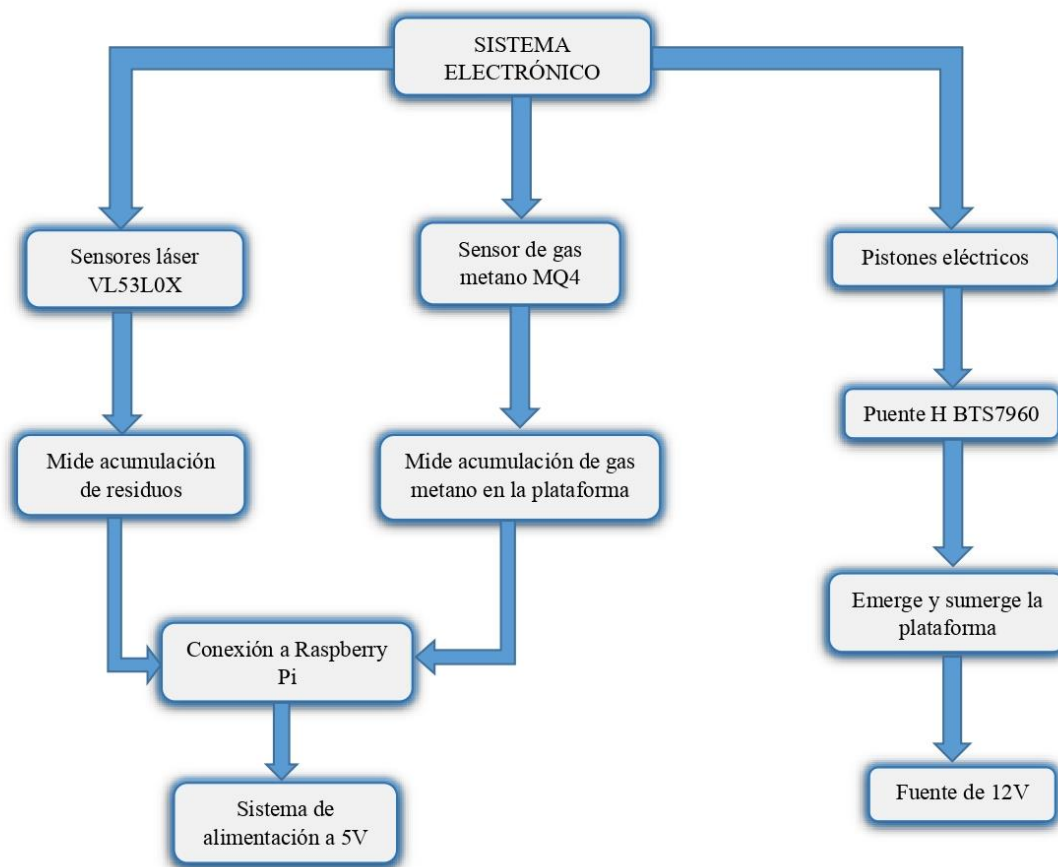


Figura 7. Modelo teórico para el sistema electrónico del soterrado.

Considerando los dos modelos anteriormente observados, en la Figura 8 se propone un modelo generalizado que abarque los principales aspectos de la presente sección y de este modo resaltar las medidas consideradas para el desarrollo de la misma; como también sus principales características y aspectos a tener en cuenta durante la realización de la sección digital del proyecto.

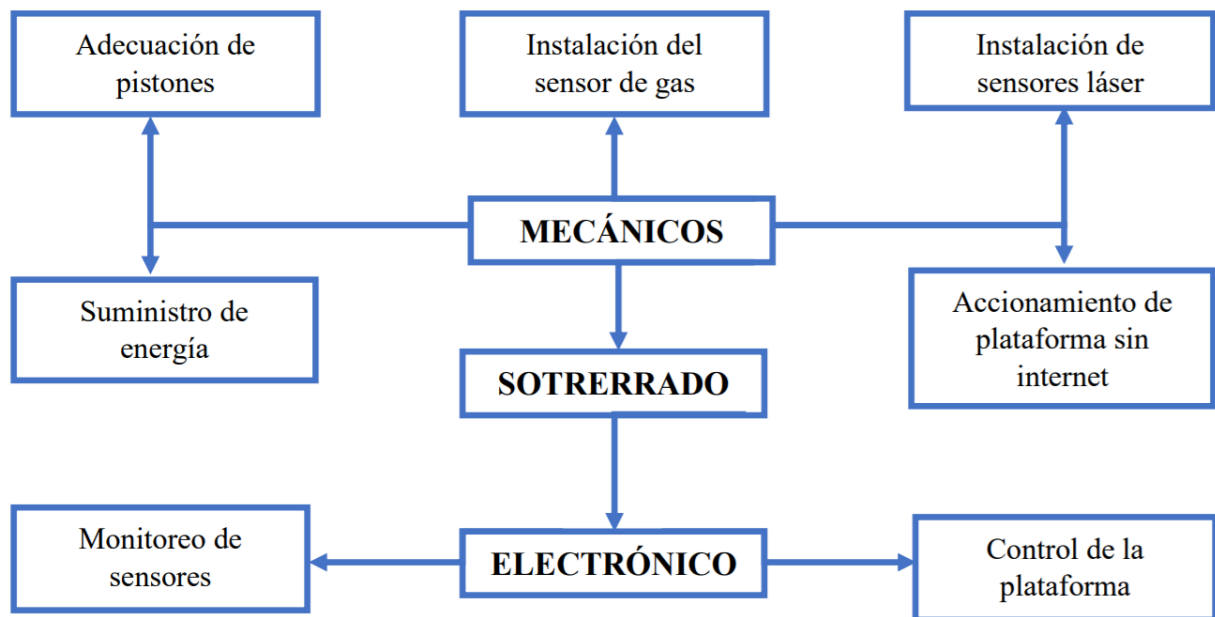


Figura 8. Modelo teórico del sistema mecánico del soterrado.

Para empezar en la implementación de la división mecánica del soterrado, se encuentra la estructura, que en su interior aloja los demás elementos ya nombrados. Dicha estructura se propone de un material y dimensiones específicas teniendo en cuenta que es un prototipo; a su vez, esta estructura cuenta con una serie de aberturas en su zona superior con las respectivas clasificaciones de residuos a insertar por el usuario, siguiendo el propósito del mismo.

Como se puede observar en la Figura 9, se establece el diseño general de cada una de las partes que hacen el modelo del sistema en su etapa estructural, estas mismas diseñada en el software CorelDraw. En primera instancia, se encuentra en la zona A de la mencionada figura las placas que corresponden a la base del soterrado, en la cual se introducen los pistones, sensor de gas, sistema de alimentación, placa PCB y la Raspberry Pi. En el lado B se encuentran las figuras de diseño que corresponden a los cestos por donde se introducen los residuos y además las placas que emergen o se sumergen y en las cuales se acoplan los sensores láser para detectar el estado de los botes que almacenan los desechos.

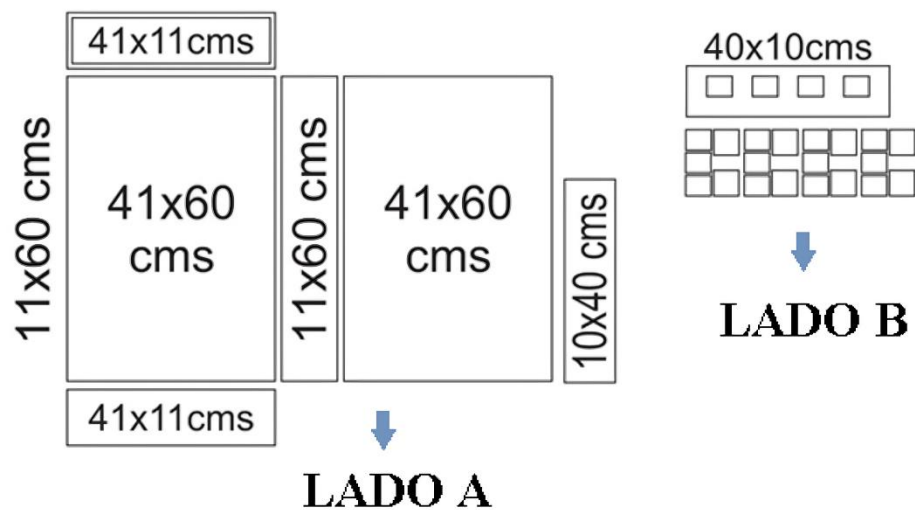


Figura 9. Diseño dimensional del sistema propuesto.

Por otro lado, en el interior de la cápsula, se ubican estratégicamente dos pistones que ejercen el desplazamiento vertical de la plataforma (Figura 10), de este modo, las entidades de desechos correspondiente tengan acceso a los subcontenedores. De igual forma, se sitúan los sensores láser para obtener el valor de residuos por cada contenedor y el sensor de gas metano ante el seguimiento de las partículas al interior del sistema. Por último, el suministro energético del sistema proviene de una fuente ATX 110 VAC, con esto, se obtienen los valores de voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de los dispositivos necesarios. Todo lo anterior nombrado, estructura la sección mecánica del sistema siendo el prototipo de hardware de la iniciativa.



Figura 10. Ubicación de los actuadores del prototipo.

Luego de observar los diferentes apartados mecánicos del sistema, se evidencia en la Figura 11 el circuito esquemático del PCB de sensores del sistema, diseñado dentro del software EAGLE donde converge la conexión de los distintos sensores pertinentes del prototipo, para de este modo; generar, ordenar y delimitar tales elementos.

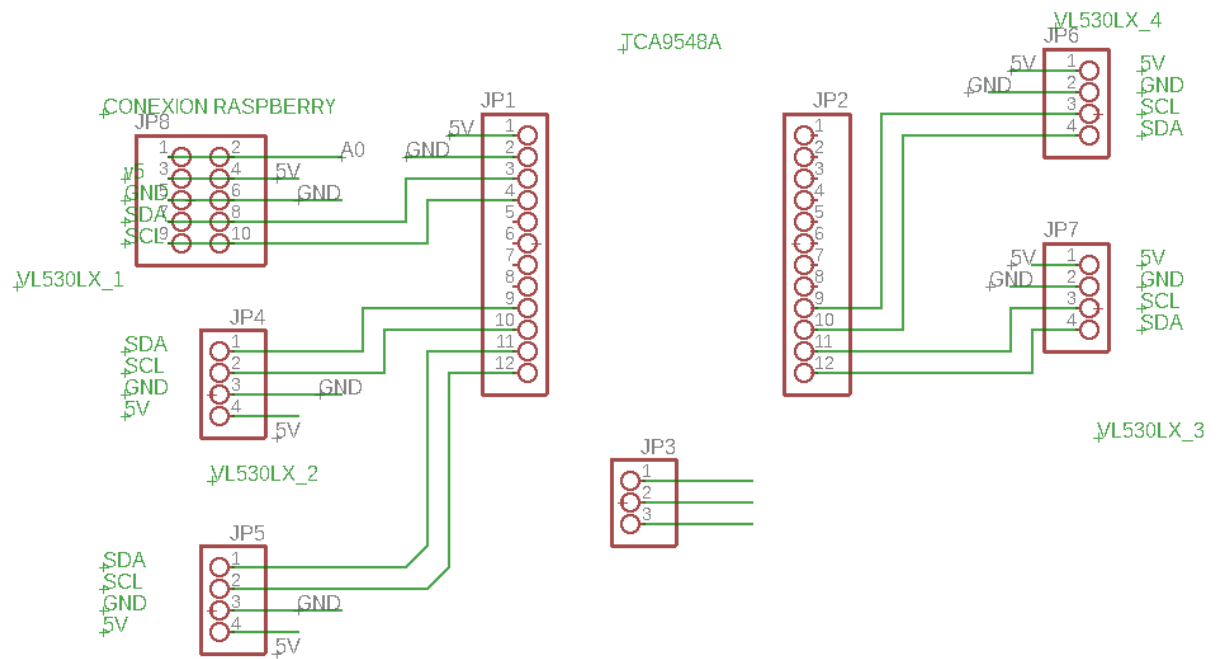


Figura 11. Circuito esquemático de sensores del sistema.

Tras el diseño del esquemático antes mencionado, se procede en el desarrollo del siguiente componente del PCB, conocido como board, donde estratégicamente se establecen los diferentes medios o líneas de comunicación entre los diferentes elementos propios del circuito como se determina en la Figura 12; teniendo en cuenta sitios de conexión en común y así obtener una placa del menor tamaño posible.

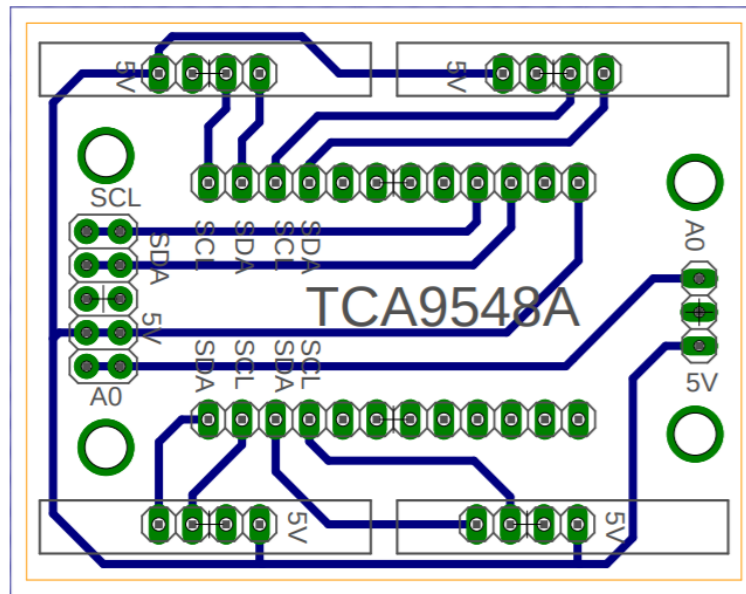


Figura 12. Board del circuito de sensores del sistema.

De manera análoga a lo anterior, la Figura 13 evidencia la representación del PCB inferior (de igual forma, diseñado en el software EAGLE) que interconecta los diferentes componentes nombrados por parte del PCB de sensores del sistema, y los pertinentes de este mismo. De este modo, vincular los procesos tanto mecánicos como digitales obteniendo así los resultados expuestos en los objetivos.

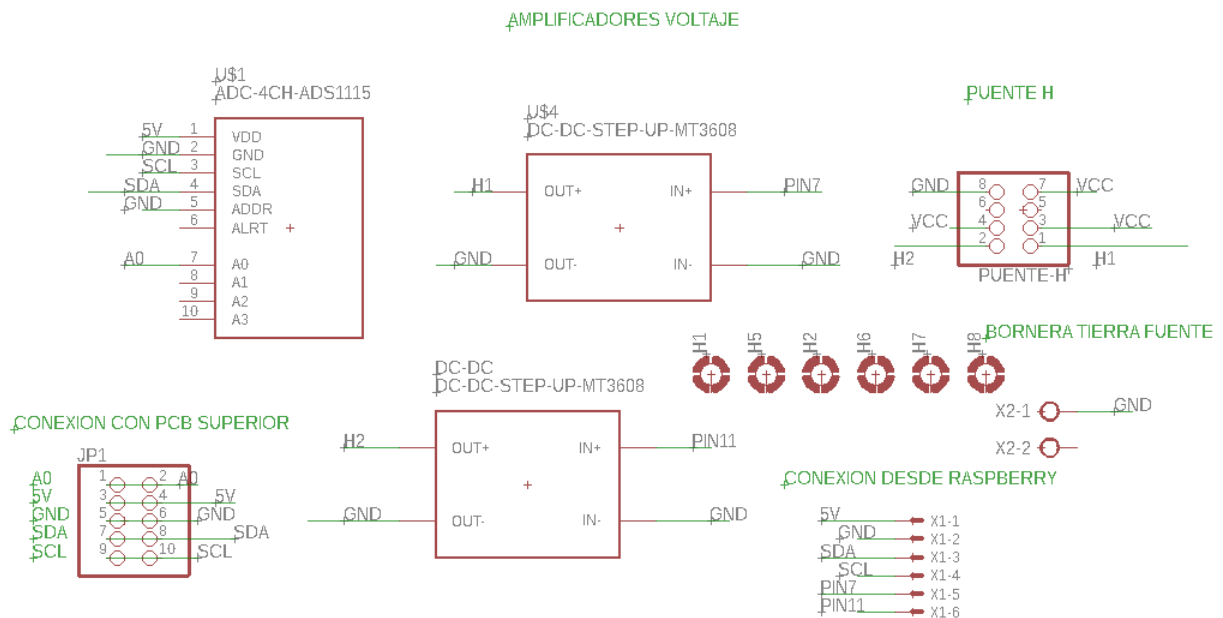


Figura 13. Circuito esquemático de actuadores del sistema.

Se observa en la Figura 14, la aplicación de los mismos lineamientos ante el circuito anterior, sin embargo, este PCB recibe la información emitida por el PCB de sensores, como también las conexiones propias de la Raspberry Pi, además establecer los módulos MT3608 que tienen como propósito convertir los valores de voltaje de la Raspberry Pi en adecuados para el controlador de los actuadores. Todos estos dispositivos pertinentes para el control del sistema. Tras esto, se procede en la realización de los aspectos físicos del sistema, como se evidencia a continuación.

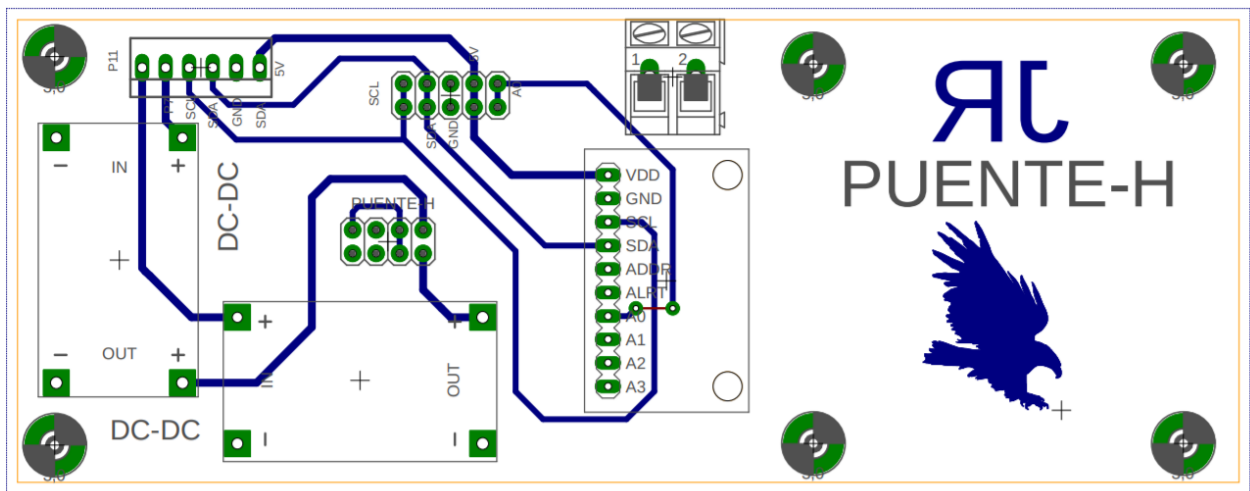


Figura 14. Board del circuito de actuadores del sistema.

Inicialmente, y siguiendo los lineamientos ecológicos, se procede en la implementación de cada uno de los depósitos debidamente clasificados mediante colores. Por estos mismos, las personas pueden ingresar los residuos. Tras esto, y como se presenta en la Figura 15, los residuos en cuestión son almacenados en sus correspondientes recipientes inferiores, como parte fundamental de la iniciativa de mitigar la contaminación visual y ambiental.



Figura 15. Distribución de almacenaje de residuos.

Una vez establecida la organización superior de los depósitos donde se introducen los residuos, se continua con la unificación de las diferentes partes físicas que componen el prototipo. Por consiguiente, en la Figura 16 se observa la consolidación de la plataforma donde se establecen los diferentes recipientes de almacenaje de residuos, y cuyo propósito es ascender y/o descender en función de la concentración de residuos de los recipientes, de este modo, dichos elementos están al margen de la interacción de los usuarios.



Figura 16. Plataforma de ascenso y descenso de residuos.

En la ultima instancia de desarrollo estructural de dispositivo, se unifican las partes anteriormente nombradas a la capsula general, donde convergen las demas disposiciones y elementos electricos y

electronicos propios del sistema como se presenta en la Figura 17; de esta manera se realiza este apartado teniendo en cuenta las dimensiones establecidas en los diseños anteriormente mencionados.



Figura 17. Estructura física del prototipo automatizado.

3.2 SECCIÓN DIGITAL

El eje central de esta sección radica en el sistema embebido, dicho sistema se implementa en una Raspberry Pi 4 modelo B, ejecutando el sistema operativo Raspberry Pi OS. Dicho sistema, en conjunto con los algoritmos codificados interpreta las diferentes señales provenientes de los sensores a utilizar, así mismo, las acciones de ascender y descender la plataforma para tener acceso a los residuos. Cabe recalcar, que tanto la comunicación de los sensores y actuadores, se realiza con los puertos GPIO propios de la tarjeta Raspberry Pi. Todo lo anteriormente nombrado, estructura la sección digital del sistema, siendo el prototipo de software de la iniciativa ejemplificado en la Figura 18.

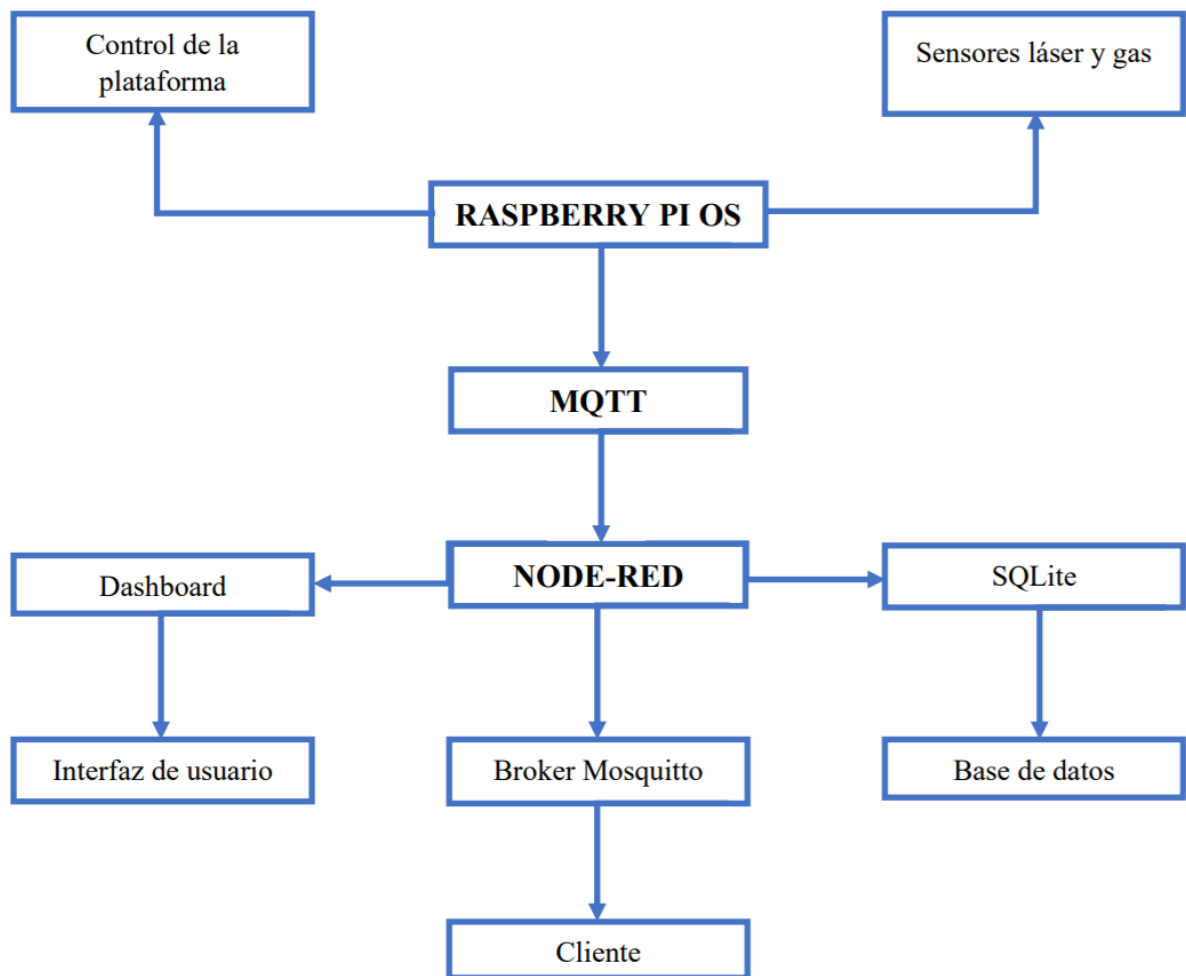


Figura 18. Modelo teórico de software del prototipo.

Con el fin de ejemplificar los distintos elementos digitales propuestos dentro del sistema, se realiza un diagrama dentro del software Fritzing, de este modo visualizar las conexiones y sensores propuestos para el prototipo, dicho modelo se puede visualizar en la Figura 19.

Cómo se logra visualizar en el esquema de conexiones (Figura 19), este consta de cuatro sensores de distancia por láser VLX530L que miden la concentración de residuos en cada uno de los contenedores. Dichos sensores utilizan la conexión I²C, por ende, los terminales de nombre SDA y SCL están dirigidos paralelamente a la placa Raspberry Pi que mediante software son clasificados. Seguidamente, se posee el ADC ADS1115, ya que el hardware de la placa Raspberry Pi no consta con un conversor análogo-digital. Dicho ADC interpreta los valores que mide el sensor de gas metano (MQ4) y posteriormente envía dichos

datos mediante la conexión I²C a la Raspberry Pi para su posterior procesamiento. Por último, se encuentra la actividad relacionada a los actuadores controlados desde el dashboard. Como se conoce, el nivel de tensión de los puertos GPIO de la placa Raspberry Pi son de 3.3V, por lo tanto, es necesario implementar dos elevadores de voltaje (MT3608), que cada uno configurado con su resistencia variable (Trimmer) entrega el valor necesario de 5V requerido por el controlador de actuadores BTS7960. Dichos pistones eléctricos funcionan a un nivel de tensión de 12V, es por esto que se utiliza una fuente externa que provea el nivel de voltaje y corriente necesario para su funcionamiento adecuado en conjunto con los elementos previamente mencionados.

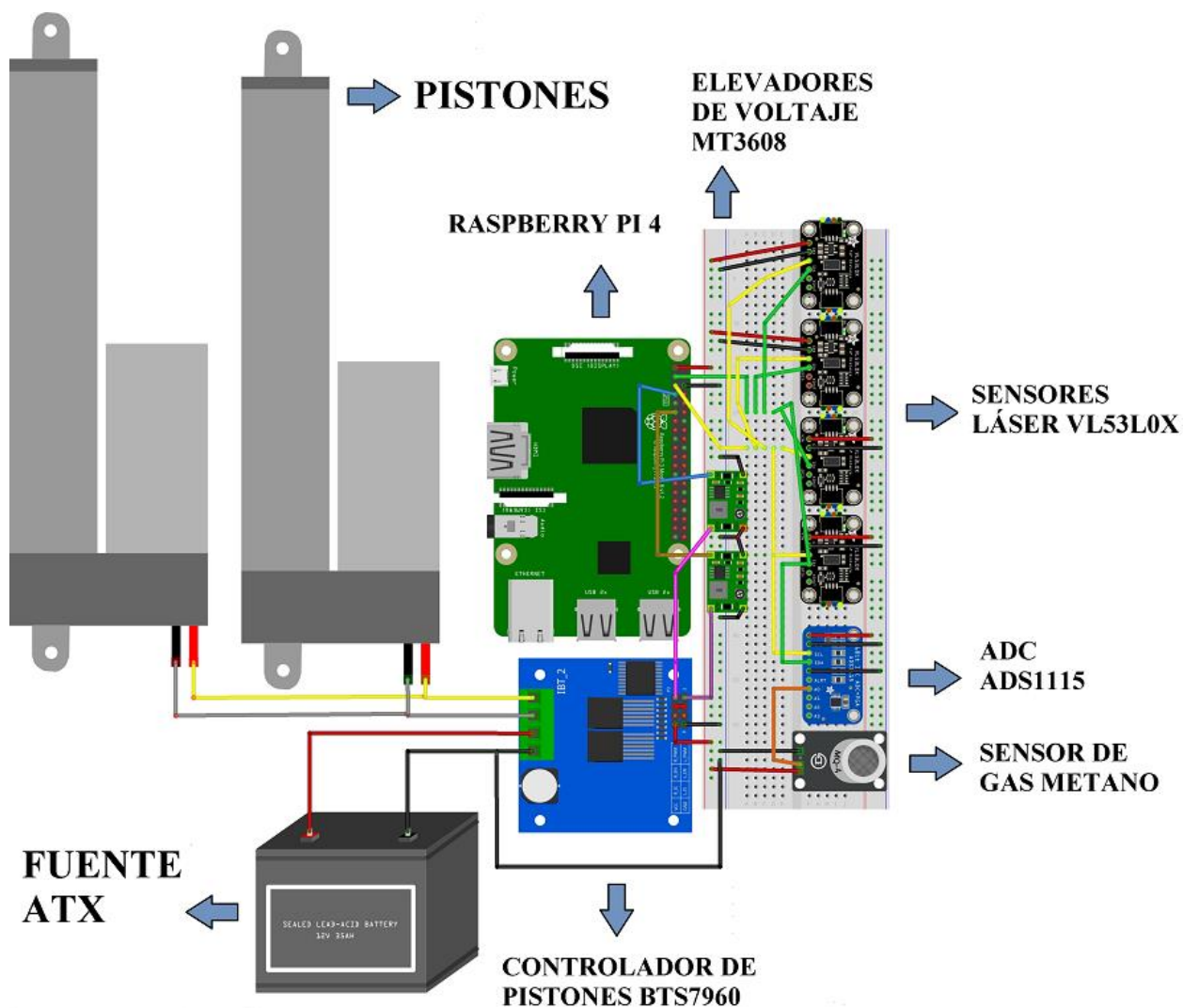


Figura 19. Ejemplificación de las conexiones digitales del sistema.

Continuando en este proceso de implementación digital es necesario instalar el broker, en este caso Mosquitto, para lo cual es necesario ejecutar en un terminal el siguiente comando “*apt get-install mosquitto*”. Prosiguiendo, se considera la plataforma Node-RED (instalada por defecto en el sistema operativo PI OS), para la realización e implementación de la interfaz de usuario con base en la ejecución de nodos en dicha plataforma. Como se conoce, la programación en dicha en el ambiente de Node-RED es a partir de la interconexión de nodos, los cuales son el núcleo del funcionamiento de la plataforma. Estos nodos basan su funcionamiento en ejecutar instrucciones como puede ser la recepción de datos, envío de datos y operaciones específicas transfiriendo el mensaje procesado al siguiente nodo, de igual forma, existen nodos para crear funciones específicas dentro del proyecto en curso haciendo uso del lenguaje de programación JavaScript.

Con base en lo previamente mencionado, se observa en la Figura 20 la interconexión de los nodos necesarios para los distintos escenarios de la interfaz, ya sean pulsadores, modelos de visualización de datos, entre otros. Para esto, Node-RED posee las contribuciones de *dashboard* que proporciona lo anterior dicho y el despliegue de la interfaz.

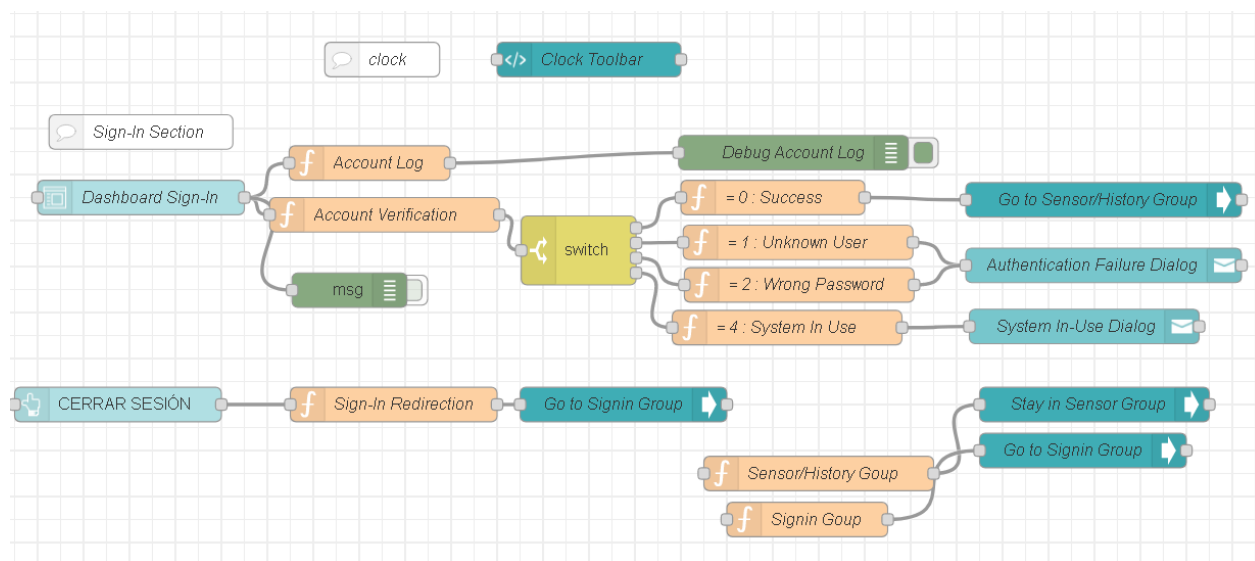


Figura 20. Nodos de acceso al Dashboard.

De igual forma el paquete *Raspberry*, que se trata de los nodos específicos para la comunicación entre Node-RED y Raspberry Pi, donde se controlan los puertos GPIO de entrada y salida y demás comunicaciones. Este dispositivo es el encargado de gestionar las acciones propias del soterrado, que a su vez son demandas

desde la interfaz de usuario, como pueden ser estas ascender y descender la plataforma que aloja los residuos. De tal forma, esta configuración es observable en la Figura 21.

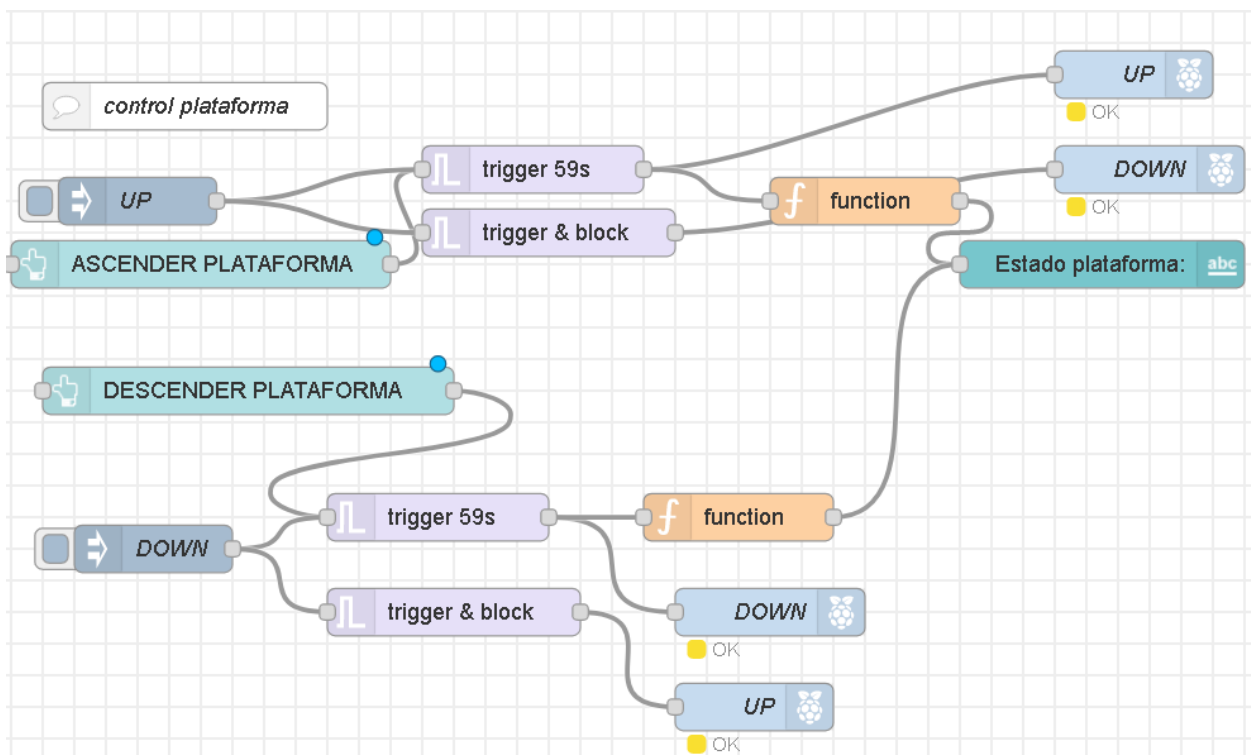


Figura 21. Nodos de control de la plataforma.

De igual modo, se propone llevar el seguimiento de la concentración de residuos y gas metano al interior del dispositivo. Para llevar esto a cabo, se propone en primera instancia la ubicación estratégica del sensor, teniendo en consideración la exposición de este a partículas potencialmente tóxicas, de este modo evitar el contacto directo con líquidos, vapores e incluso humo que interrumpa el funcionamiento del sensor y repercutir en daños al sistema y al ambiente. Seguidamente, para llevar una visualización de dicha información, se utiliza la configuración de los nodos *Gauge* y *Chart* en el ambiente de desarrollo de Node-RED como es observable en la Figura 22. Dichos ítems enlazan los bucles de recepción de información con el apoyo del broker *Mosquitto*, permitiendo la comunicación y recopilación de datos desde la Raspberry Pi inicialmente hasta su posterior tratamiento y visualización en la plataforma web.

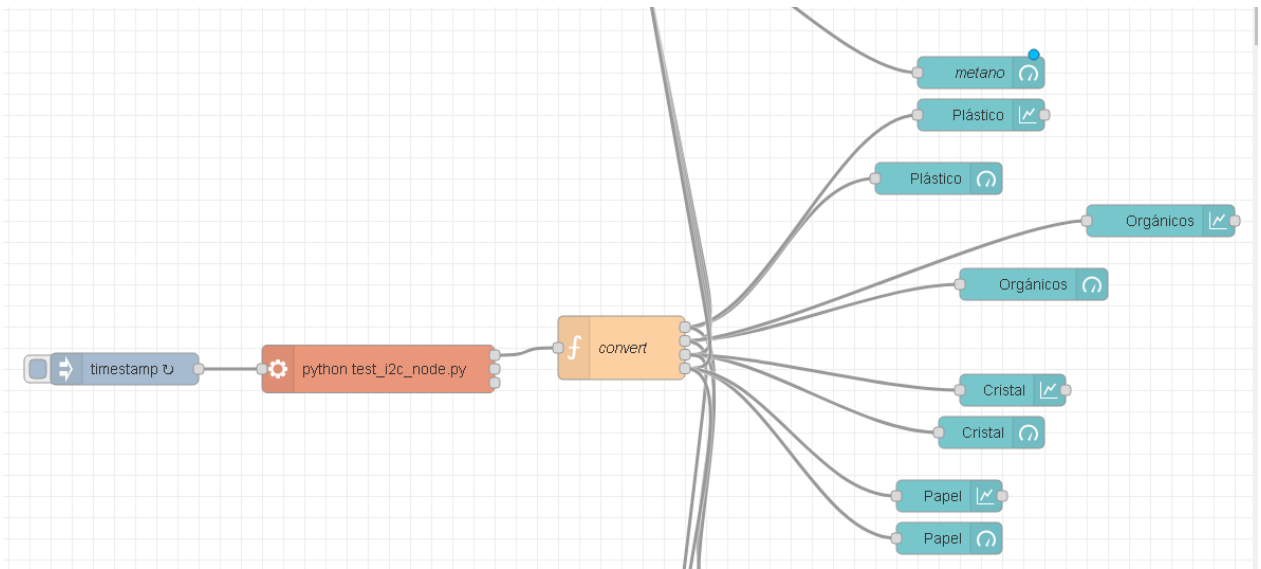


Figura 22. Nodos de visualización de datos en el Dashboard.

En el apartado *Dashboard* del mismo Node-RED, se consolida un apartado de históricos con el fin de proveer la información pertinente de los sensores a lo largo del tiempo, y de este modo ofrecer información periódica útil para las entidades de control de los residuos. Es así como toda la comunicación se realiza con base en la programación de bloques ejemplificada en la Figura 23.

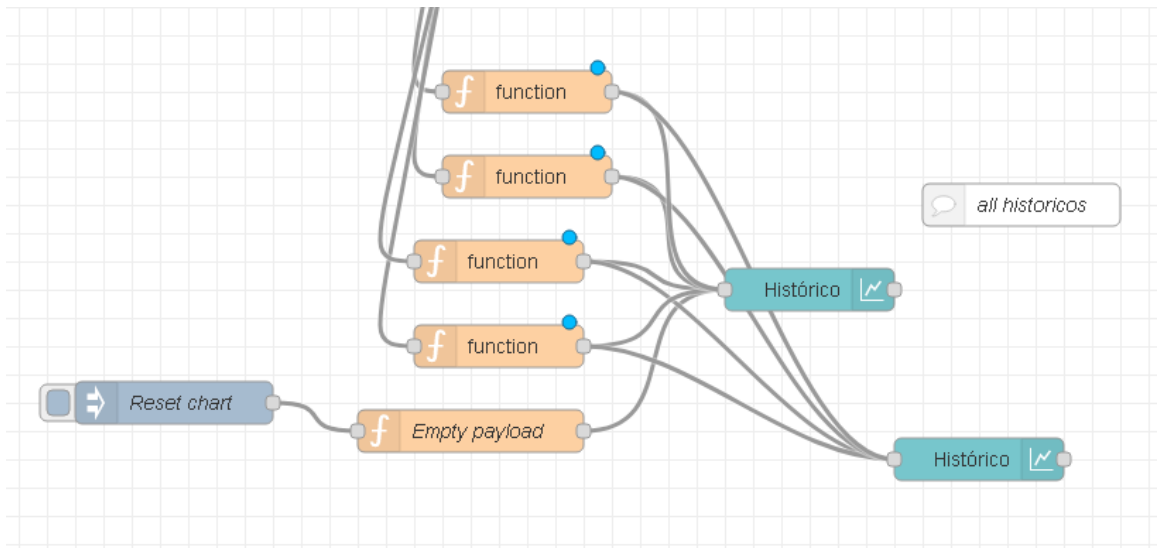


Figura 23. Nodos de visualización de históricos de sensores en el Dashboard.

Presente en la Figura 24, el paquete de SQLite en Node-RED constituye los nodos necesarios para la base de datos, en cuyo caso es necesario configurar en el mismo nodo el tópico como el destino en la Raspberry Pi para la creación de la base de datos y que dicha herramienta se ejecute correctamente. Una vez diseñados y configurados los elementos necesarios dentro de la interfaz con los respectivos tópicos, esta se visualiza introduciendo la dirección IP donde se ejecuta Node-RED en la Raspberry Pi en el navegador web, seguido de los caracteres “/ui”.

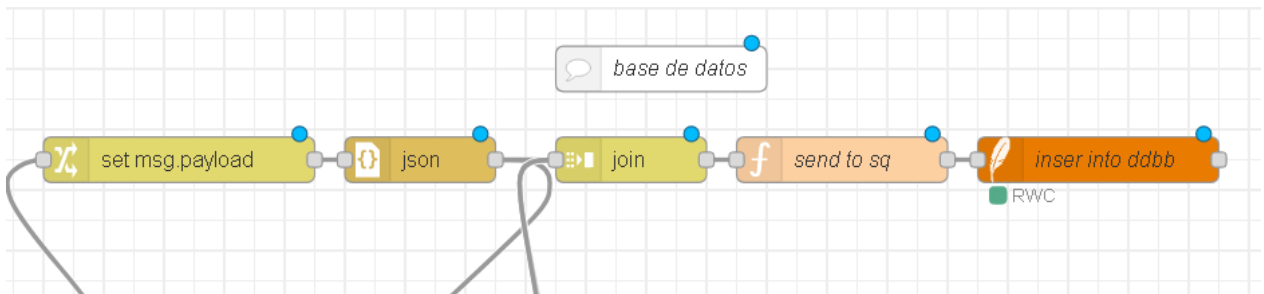


Figura 24. Nodos de base de datos SQLite.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

A lo largo de este capítulo se evidencian los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. En primera instancia, y después de una etapa de planificación y modelación del sistema en su forma estructural, se realizó un contenedor de medidas 60x40 centímetros (cm) hecha en el material acrílico, que funciona como estructura principal y aloja de los residuos y demás componentes del sistema. En el interior de este soterrado, se implementaron cuatro contenedores para el almacenamiento de los diferentes residuos. De igual modo, la cápsula general posee las distintas aberturas ubicadas en la zona superior de cada subcontenedor. Además de lo anterior, esta estructura general posee una plataforma movable verticalmente mediante dos pistones eléctricos (12v DC) con el fin de tener acceso cuando sea necesario por las entidades encargadas a los diferentes subcontenedores que alojan los residuos.

Una vez completada la fabricación de la estructura, se lleva a cabo una etapa de instrumentación en función de los requerimientos planteados del sistema. Análogo a lo anterior, se ubican estratégicamente los sensores de medición de distancia mediante láser (VL53OX) y el sensor de gas metano MQ4, con el fin de medir la cantidad de desechos acumulados en los diferentes subcontenedores y las partículas tóxicas al interior del soterrado respectivamente. Tras determinar dichas ubicaciones de los sensores en función de los elementos mecánicos acoplados, se realiza el proceso de toma de diferentes medidas, con el fin de tener valores preliminares de funcionamiento y comportamiento dentro del sistema. Este proceso se realiza en repetidas ocasiones para establecer la calibración de los sensores, tiempos de respuesta paralelamente en demás tareas del sistema, como el ascenso y descenso de la plataforma y de este modo corregir posibles muestras de datos erróneos en la interfaz de usuario final. En la Figura 25 se puede evidenciar los diferentes apartados que componen lo anteriormente mencionado.



Figura 25. Alojamiento de residuos y mecanismo del sistema.

Durante este proceso, se incluyeron diferentes ambientes para los sensores de distancia y gas metano. En primera instancia, los sensores de distancia son sometidos a variaciones de la exposición de luz natural y artificial a lo largo de diferentes horarios del día, de igual como variar su ubicación y ángulo de posición frente a los elementos internos del prototipo. Tal proceso tiene el fin de determinar algún tipo de error de los sensores y prevenir que estos envíen información equivocada la cual intervenga en el proceso de sensado de la concentración de los diferentes contenedores; también establecer una ubicación estratégica en el soterrado que cumpla con la medición de la concentración de residuos periódicamente. Dicha actividad se establece repetidamente hasta establecer un comportamiento constante en la toma de información, lo que indica el aceptable comportamiento de los sensores respecto a su utilidad prevista y ubicación establecida.

Tras concluir las tareas previstas con los sensores de distancia, se calibra el sensor de gas metano al ambiente interior del prototipo, esto es exponerlo en ambientes cerrados y abiertos con gas artificial para determinar su sensibilidad y respuesta, de igual forma, recolectar información mientras el sistema realiza diferentes

actividades como el depósito de diferentes tipos de residuos y así determinar la ubicación propicia para la recolección de mayor información útil a la par de los sensores anteriormente mencionados y del objetivo de instrumentación del sistema. La información recolectada a lo largo del proceso previamente detallado, constituye la información clave a la hora de consolidar el proceso de automatización del dispositivo teniendo en cuenta su procesamiento posterior detallado en el apartado web como las acciones que se pretende que realice por parte de las entidades encargadas para tales residuos. Por último, cabe recalcar que la información registrada en el proceso de análisis está reflejada en las adecuaciones finales del prototipo presente en la Figura 26 y Figura 27, de este modo contrastar plenamente el objetivo planteado y la relevancia de dicha información mencionada en el desarrollo del dispositivo.



Figura 26. Prototipo automatizado almacenaje de residuos.

En la Figura 27, se presenta al prototipo final obtenido. Desde la plataforma que posee los contenedores, ajustada mediante cuatro ejes que dirigen el movimiento verticalmente, visualizando la acción de dejar al descubierto los contenedores para llevar a cabo la limpieza por parte de las entidades de desechos. Bajo dicha plataforma se aloja la capsula donde convergen todos los demas elementos que componen el

dispositivo y se resguardan los contenedores. De igual forma, se comprende el dispositivo de control ante cualquier contingencia, cuyo proposito es ascender y/o descender la plataforma.



Figura 27. Función de ascenso de la plataforma.

Por otro lado, dentro del apartado *Dashboard* de visualización de la interfaz de usuario propuesta, se detallan los aspectos relevantes dentro de la misma, siendo la serie de medidores de concentración de desechos el medio por el cual se observan los cambios ante el ingreso de los residuos. Además, se denotan tres pulsadores, donde los dos primeros tienen las instrucciones de ascender y descender la plataforma que contiene los subcontenedores de los residuos y el último determinado para cerrar sesión dentro de la interfaz, es decir, dar por terminado el acceso a los apartados justo antes mencionados. En primera instancia, se consolida un inicio de sesión con credenciales específicos denotado en la Figura 28, con el fin de brindar un apartado de seguridad y conservación de la información.

Signin

Usuario*

.....

Contraseña*

.....

ENVIAR CANCELAR

Figura 28. Inicio de sesión en el Dashboard web.

Una vez se ha completado la verificación de las credenciales, se visualiza la pestaña principal del Dashboard (Observada en la Figura 29). Para empezar, se constituyen los pulsadores de acción sobre la plataforma. Luego, se encuentra el medidor de partículas de metano (mediante el sensor MQ4), y al final, se halla el pulsador de cerrar sesión que como ya se menciona, cierra la vista de la interfaz. Posteriormente se observa los medidores para la concentración de residuos clasificados y en función de ello prevenir el desborde de la capacidad de los mismos.



Figura 29. Visualización de información en el Dashboard web.

El último apartado de esta pestaña de la interfaz infiere en el seguimiento a lo largo del tiempo de los diferentes sensores dentro del sistema, esto observable a través de las diferentes gráficas de la Figura 30. De este modo obtener datos a largo plazo de la información sensada. Cabe recalcar que para esto se realiza una pestaña posterior (dentro de la misma interfaz), que se proyecta en la Figura 30, con el fin de observar el comportamiento de los valores de concentración de cada subcontenedor y así visualizar dicha información individualmente.

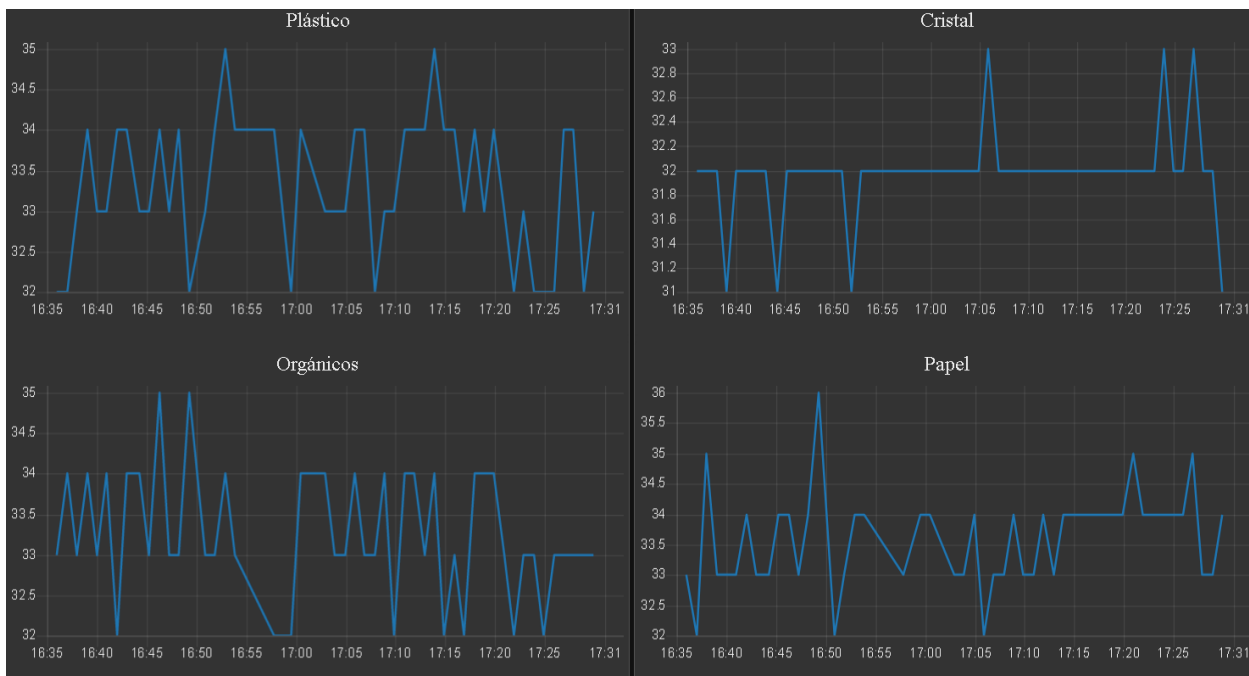


Figura 30. Histórico de sensores en el Dashboard web.

Por último, y siguiendo los objetivos específicos propuestos, se estipula la creación de un modelo de base de datos, para el almacenamiento de la información específica del soterrado. Teniendo esto en cuenta, dicho proceso se desarrolló utilizando las bases de datos de SQLite en conjunto con Node-RED. En la Figura 31, se visualiza el procedimiento para inicialmente crear la base de datos utilizando los nodos específicos que provee la plataforma Node-RED. Seguido de esto, se ingresa en sus configuraciones e ingresa el código de creación especificando los datos propios de la base de datos como puede ser el nombre, cantidad variables y el tipo de variable. Este proceso de creación solo se realiza una vez, con ello el archivo de extensión *.db* queda con las configuraciones realizadas y cómo se logra visualizar en los nodos, la información de los sensores se ingresa periódicamente.

id	papel	cristal	plastico	organicos	metano	currentdate
1	33	33	32	34	32	Tue Dec 07 2021 17:27:55 GMT-0500 (Colombia Standard ...
2	33	31	33	32	33	Tue Dec 07 2021 17:28:55 GMT-0500 (Colombia Standard ...
3	32	34	33	32	32	Tue Dec 07 2021 17:29:55 GMT-0500 (Colombia Standard ...
4	35	32	32	31	35	Tue Dec 07 2021 17:30:55 GMT-0500 (Colombia Standard ...
5	33	33	31	35	33	Tue Dec 07 2021 17:32:55 GMT-0500 (Colombia Standard ...
6	32	33	32	35	34	Tue Dec 07 2021 17:35:23 GMT-0500 (Colombia Standard ...
7	33	32	34	32	33	Tue Dec 07 2021 17:36:23 GMT-0500 (Colombia Standard ...
8	33	34	32	34	33	Tue Dec 07 2021 17:38:39 GMT-0500 (Colombia Standard ...
9	34	31	33	33	33	Tue Dec 07 2021 17:39:39 GMT-0500 (Colombia Standard ...
10	32	34	34	34	32	Tue Dec 07 2021 17:40:40 GMT-0500 (Colombia Standard ...
11	34	33	34	32	35	Tue Dec 07 2021 17:41:39 GMT-0500 (Colombia Standard ...
12	32	33	31	34	33	Tue Dec 07 2021 17:43:54 GMT-0500 (Colombia Standard ...
13	33	35	32	34	34	Tue Dec 07 2021 17:46:34 GMT-0500 (Colombia Standard ...
14	33	32	32	33	34	Tue Dec 07 2021 17:47:34 GMT-0500 (Colombia Standard ...
15	32	33	33	34	32	Tue Dec 07 2021 17:48:34 GMT-0500 (Colombia Standard ...
16	33	33	33	31	33	Tue Dec 07 2021 17:49:34 GMT-0500 (Colombia Standard ...

Figura 31. Base de datos SQLite.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

En conjunto, durante el proceso de desarrollo del sistema, se encontraron inconvenientes, sin embargo, se han cumplido con los objetivos iniciales propuestos para esta iniciativa. Partiendo desde la plataforma física inicial, la cual constituye gran parte del prototipo como fuente base de lo que se plantea, siendo este ejemplo de ello. Posteriormente, la llegada del proceso de automatización y lo que este conlleva, como el uso de sensores específicos, ubicados en áreas estratégicas para la medición del llenado de cada uno de los receptáculos, así como de la concentración de gas tóxico en el interior del soterrado. Siguiendo con los ideales propuestos acerca de la automatización, tal como se planteó de forma inicial, se pudo lograr de forma satisfactoria. Esto haciendo uso del software propuesto. De igual forma, se concluyó en el diseño del *Dashboard* interactivo, donde se puede visualizar la información pertinente a cada uno de los sensores, como también dar órdenes al propio sistema, todo esto de forma estable y continua, siendo parte fundamental, la implementación del protocolo de internet de las cosas en el soterrado.

Derivado de lo anteriormente mencionado, la propuesta de interactuar con el prototipo sin usar un método de conectividad estrictamente, apremia ante cualquier posible fallo entre los medios de conexión vía internet, debido a esto, se hizo acopio de diferentes recursos de hardware en la estructura (soterrado) que ejecuten las acciones pertenecientes al mismo, es decir, un método que funcione paralelo al principal (mediante internet), siendo este en su utilidad estrictamente funcional, esto es, ascender o descender la plataforma, ya que se diseñó como método de respaldo temporal.

CAPÍTULO 6: TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta el planteamiento de la presente propuesta, desde la concepción de la misma hasta su actual desarrollo, se hace referencia a futuros aspectos donde dicho proyecto puede tomar presencia, de dicho modo, fortalecer la iniciativa presentada en función de la problemática abordada. Es así como una primera perspectiva hacia esto, o trabajo futuro a tener en consideración la implementación real del dispositivo en una región estratégica, ya que como se ha logrado observar a lo largo del desarrollo de este proyecto, inicialmente como prototipo, este tiene las características tecnológicas e innovadoras de ser implementado. Esto en función de la problemática a la cual el proyecto se ciñe.

Con la intención de proyectarse hacia futuros trabajos respecto del actual, en referencia a lo que este envuelve, es la implementación del mismo como parte inicial hacia un medio de almacenamiento de desechos generalizado en las áreas urbanas y rurales de la ciudad en cuestión, complementado con los procesos, métodos y aplicaciones que el sistema requiere y proyecta como medio automatizado hacia el cuidado del medio ambiente y el control de los desechos utilizando enfoques tecnológicos.

Además de lo anterior, se considera utilización de modelos de funcionamiento con base en energías renovables, esto manteniendo la inclusión de formas que ayuden en la protección y conservación del medio ambiente, por lo cual la utilización de energías renovables como único suministro energético del sistema es un beneficio para el mismo.

Por otro lado, en posteriores investigaciones es menester tener en cuenta la inmersión de nuevos sensores, que amplíen la gama de variables físicas a medir dentro y fuera del soterrado, esto con el fin de hacer el proceso de automatización más sólido y amigable antes los diferentes usuarios en cuestión. De igual forma, considerando el almacenamiento de residuos y el tratamiento posterior de estos.

Finalmente, y teniendo en consideración la implementación real de este proyecto, se propone la vinculación de diferentes dispositivos GPS a cada sistema, de este modo, recrear rutas de recolección de residuos en las inmediaciones de las áreas aplicadas, haciendo esta tarea factible por parte de las entidades pertinentes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Con las basuras hasta el cuello en el barrio La Cecilia - La Crónica del Quindío - Noticias Quindío, Colombia y el mundo.” <https://www.cronicadelquindio.com/noticias/ciudad/con-las-basuras-hasta-el-cuello-en-el-barrio-la-cecilia> (accesado May 19, 2021).
- [2] “RESIDUOS SÓLIDOS: Las basuras son un problema de salud pública en Armenia | Armenia | Caracol Radio.” https://caracol.com.co/emisora/2017/01/17/armenia/1484658908_949106.html (accesado May 19, 2021).
- [3] “- AECC - Asociación Española de Comunicación Científica.” <https://www.aecomunicacioncientifica.org/> (accesado May 19, 2021).
- [4] “Los planes de movilidad urbana sostenible en España (PMUS): dos casos paradigmáticos: San Sebastián-Donostia y Getafe.” <https://eprints.ucm.es/id/eprint/50775/1/T40778.pdf> (accesado May 19, 2021).
- [5] “Obras para todos que cerrarán brecha social y abrirán caminos para la Competitividad.” <https://www.uninorte.edu.co/documents/73923/11941478/Documento+Resumen+POT+2012.pdf/7a6560c4-f0ff-4e03-b600-1aa9bfcc8041?version=1.0> (accesado May 19, 2021).
- [6] “Underground Containers - Elkoplast.” <https://www.elkoplast.eu/underground-containers> (accesado Dec. 01, 2020).
- [7] “Sacyr • Ingeniería, Infraestructuras y Servicios.” <https://www.sacyr.com/> (accesado May 19, 2021).
- [8] “Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi.” <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/> (accesado May 19, 2021).
- [9] “MQTT - The Standard for IoT Messaging.” <https://mqtt.org/> (accesado Oct. 26, 2020).
- [10] “Eclipse Mosquitto.” <https://mosquitto.org/> (accesado May 19, 2021).
- [11] “About : Node-RED.” <https://nodered.org/about/> (accesado Oct. 26, 2020).
- [12] “SQLite Home Page.” <https://www.sqlite.org/index.html> (accesado May 19, 2021).
- [13] “GY-530 VL53L0X EL SENSOR DE MEDICIÓN POR LÁSER.” <https://ssdielect.com/cb/sensores-opticos/469-gy-530-vl53l0x.html> (accesado May 19, 2021).
- [14] “Sensor de distancia ToF VL53L0X.” <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/325-sensor-vl53l0x-de-tof.html> (accesado Jul. 29, 2021).
- [15] “MQ-4 Sensor de gas metano - Geek Factory.” <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-4-sensor-de-gas-metano/> (accesado May 19, 2021).
- [16] “Amazon.com: Rastreador solar de Eco-Worthy, muy resistente, carga de hasta 330 lb, accionamiento lineal, multifunción, uso automático electrónico, 8", 12v: Industrial & Scientific.” https://www.amazon.com/dp/B00NM8H5SC?psc=1&ref=ppx_yo2_dt_b_product_details (accesado May 19, 2021).

- [17] “What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?” <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (accesado Oct. 26, 2020).
- [18] “Placa Raspberry Pi 4 con MHS, Carcasa de ABS con pantalla táctil de 3,5 pulgadas, fuente de alimentación, ventilador de refrigeración para tarjeta SD, disipador de calor para 2GB, 4GB, 8GB, RPI 4B Pi4|Tablero de demostración| - AliExpress.” <https://es.aliexpress.com/i/4000720044467.html> (accesado Jul. 30, 2021).