



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE LA NUTRICIÓN DEL
SUELO EN UN CULTIVO DE ROSAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: CRISTINA VALERIA CALLE SARMIENTO

ANDRÉS EDUARDO CHACHA YUMBLA

TUTORA: ING. MÓNICA KAREL HUERTA, PhD.

CO-TUTOR: ING. JUAN PAÚL INGA ORTEGA, MGT.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Cristina Valeria Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0107495061 y Andrés Eduardo Chacha Yumbla con documento de identificación N° 0106055775; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 7 de octubre del 2022

Atentamente,



Cristina Valeria Calle Sarmiento
0107495061



Andrés Eduardo Chacha Yumbla
0106055775

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Cristina Valeria Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0107495061 y Andrés Eduardo Chacha Yumbla con documento de identificación N° 0106055775, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño de un sistema para la supervisión de la nutrición del suelo en un cultivo de rosas basado en Internet de las Cosas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 7 de octubre del 2022

Atentamente,

Cristina Valeria Calle Sarmiento
0107495061

Andrés Eduardo Chacha Yumbla
0106055775

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Karel Huerta con documento de identificación N° 0151450426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DE LA NUTRICIÓN DEL SUELO EN UN CULTIVO DE ROSAS BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS, realizado por Cristina Valeria Calle Sarmiento con documento de identificación N° 0107495061 y por Andrés Eduardo Chacha Yumbla con documento de identificación N° 0106055775, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 7 de octubre del 2022

Atentamente,



Ing. Mónica Karel Huerta, PhD.

0151450426

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme el don de la vida, a mi madre, por apoyarme en cada paso e impulsarme para cumplir mis metas. A mis hermanos, Priscila e Isaac, a pesar de los días grises estuvieron para animarme a seguir adelante.

A mis amigos por su amistad, especialmente Andrés, con el que compartí muchos momentos alegres y tristes en nuestra vida académica. A mis docentes, que compartieron todos sus conocimientos con mi persona, mi tutora PhD. Mónica Huerta y el Ing. Juan Inga, que nos acompañaron en cada paso durante este proceso.

Cristina Valeria Calle Sarmiento

Agradezco muy inmensamente a mis padres y familiares que estuvieron pendientes durante todo mi camino universitario y me apoyaron en todo lo que necesitaba para cumplir mis metas. De igual manera agradezco a mis profesores que me apoyaron durante toda la carrera y compartieron su conocimiento. A mis amigos que me apoyaron y brindaron su amistad, muy especialmente a mi compañera de tesis y amiga Valeria que durante este tiempo hemos compartido muchas experiencias. A mi tutora PhD. Mónica Huerta y el Ing. Juan Inga que me apoyaron durante la realización del trabajo de titulación.

Andres Eduardo Chacha Yumbla

DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre, Cristina y Celso, que a su manera, me brindaron todo el amor que los padres pueden dar a sus hijos, por el esfuerzo en mi educación académica y para la vida.

Cristina Valeria Calle Sarmiento

A mi familia, especialmente a mi madre Luz, padre Eduardo, hermano Leonardo y mi tía Nube, que siempre me apoyaron en esta etapa de mi vida.

Andres Eduardo Chacha Yumbra

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	X
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	XII
JUSTIFICACIÓN	XIV
OBJETIVOS	XV
OBJETIVO GENERAL	XV
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XV
DELIMITACIONES	XV
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1. Rosas de exportación	1
1.1.1. Rosa Skyline	2
1.1.2. Rosa Royal Velvet	2
1.1.3. Rosa Sp Freedom	3

1.2.	Requerimientos nutricionales de la planta	4
1.2.1.	Potencial de Hidrógeno (pH)	4
1.2.2.	Nutrientes del suelo	5
1.2.3.	Conductividad eléctrica	8
1.2.4.	Parámetros edafoclimáticos	8
1.3.	Internet de las Cosas (IoT)	9
1.3.1.	Beneficios del IoT	9
1.3.2.	Aplicaciones de IoT	9
1.3.3.	Tecnologías usadas para IoT.....	10
1.4.	Long Range (LoRa)	11
1.5.	Amazon Web Service (AWS).....	11
1.6.	Chirpstack.....	11
2.	MARCO METODOLÓGICO	13
2.1.	Módulos y sensores	13
2.1.1.	Cube Cell HTCC-AB01	13
2.1.2.	Sensor NPK para medir Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Conductividad eléctrica (CE) y pH	14
2.1.3.	Sensor de humedad anticorrosivo FC-38	18
2.1.4.	Módulo MAX485.....	19
2.1.5.	Elevador de Voltaje MT3608.....	20
2.1.6.	Convertor de nivel TXS0108E.....	20
2.1.7.	Display OLED	21
2.1.8.	TP4056.....	22
2.2.	Gateway LoRa MileSighthUG67	23
2.3.	Placa PCB	24
2.4.	Caja para aplicaciones IoT.....	25
2.5.	Esquema de comunicaciones.....	27
2.5.1.	Comunicación del Cube Cell hacia los módulos y sensores.....	27
2.5.2.	Topología de la red	27
2.5.3.	Alimentación	28

2.6. FLORES DEL LAGO FLORLAGO CIA LTDA (ECUADOR)	29
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	31
3.1. Nodos	31
3.2. Consumo teórico de corriente	32
3.3. Consumo de corriente real del circuito	33
3.4. Interfaz en Chirpstack	34
3.5. Colocación de los nodos	36
3.6. Recepción de datos	39
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	45
APÉNDICES	51
APÉNDICE A: DIMENSIONES DE LA CAJA	51
APÉNDICE A: DIAGRAMAS DE FLUJO	58

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Rosa Skyline.	2
1.2. Rosa Royal Velvet.	3
1.3. Rosa Sp Freedom.	3
2.1. Cube Cell HTCC-AB01.....	14
2.2. Sensor NPK.....	15
2.3. Pines del sensor.....	17
2.4. Sensor de humedad HD-38 anticorrosivo.....	18
2.5. Módulo MAX485.....	20
2.6. Elevador de voltaje MT3608.....	20
2.7. Conversor de nivel.....	21
2.8. Pantalla Oled.....	21
2.9. Cargador de batería TP4056.....	22
2.10. Gateway Milesight para red LoRaWAN.....	23
2.11. Placa en vista 2D.....	25
2.12. Placa vista en 3D.....	25
2.13. Vista frontal-lateral-interior de la caja.....	26
2.14. Vista posterior-izquierda de la tapa.....	26
2.15. Esquema de comunicaciones del Cube Cell hacia sensores y pantalla OLED.....	27
2.16. Esquema de comunicaciones inalámbrica de la red.....	28
2.17. Esquema de alimentación eléctrica.....	28
2.18. Ubicación Florlago - Imagen satelital tomada desde Google Maps.....	29
2.19. Florlago. Ubicación de dispositivos - Imagen satelital tomada desde Google Maps.....	30
3.1. Nodos para sensado, recolección y envío de datos.....	31

3.2. Configuración interna de cada nodo.	32
3.3. Consumo de corriente del circuito tomado desde el osciloscopio.....	33
3.4. Interfaz de Chirpstack (Dashboard).....	34
3.5. Interfaz con las características de los nodos.....	35
3.6. Configuración del primer Nodo.	35
3.7. Instalación del Gateway.....	36
3.8. Mapa de colocación de nodos en el invernadero.....	37
3.9. Instalación de nodos para pruebas en el invernadero.....	38
3.10. Colocación de sensores en la tierra.....	39
3.11. Datos recibidos en Chirpstack.....	39
3.12. Datos descargados en archivo .json.	40
4.1. Diagrama de flujo función principal “Nodo LORA”.....	58
4.2. Diagrama de flujo de funciones: “pedir_dato”, “concatena”, “Humedad” y “prepareTxFrame”.....	59
4.3. Diagrama de flujo de la función “display_”.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Asimilación de nutrientes: rango óptimo de pH del suelo	5
1.2. Comparación entre Lora, Sigfox y Zigbee	10
1.3. Regiones de LoRa.....	12
2.1. Parámetros de funcionamiento del sensor NPK.....	16
2.2. Parámetros para medición del sensor NPK.....	16
2.3. Cuadro de interrogación NPK.....	17
2.4. Cuadro de respuesta NPK.....	17
2.5. Direcciones de registro.....	18
3.1. Consumo de corriente teórico del circuito.....	32
3.2. Tiempo en el aire de la señal	41

RESUMEN

En este trabajo se investigó acerca de los parámetros de nutrición del suelo necesarios para cultivo de rosas de exportación en Ecuador, se trabajó dentro del tema: “Diseño de un sistema para la supervisión de la nutrición del suelo en un cultivo de rosas basado en internet de las cosas”. Entre los parámetros que se midieron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad, ph y humedad del suelo, los cuales fueron procesados y enviados por medio de tecnología LoraWan. Para medir los parámetros nutricionales del suelo se usó un sensor NPK con interfaz RS485, el que, para obtener los datos, se tuvo que convertir a una interfaz UART para leerlos con un microcontrolador. Además, se usó un sensor de humedad para el suelo para complementar el sensor NPK, ya que se necesita un cierto nivel de humedad para poder realizar correctamente la medición de los nutrientes. Para la visualización de los datos obtenidos se usó una pantalla OLED. Se usó el módulo Cube-Cell para lectura de los sensores y comunicación LoRa, el cual se configuró para que pueda conectarse aun Gateway y a la plataforma Chirpstack para visualización de los datos en el Internet.

Palabras clave: Cub cell; IoT; Lora; OLED; RS485; UART; SENSOR NPK

INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial que se dió a finales del siglo XVIII en la cual la humanidad sufrió su mayor transformación debido a la incorporación del uso de las máquinas en la industria aumentó la producción en las empresas. También se habla de otras dos revoluciones que sucedieron al culminar el siglo XIX y principios del siglo XX, en la que se produjo varias fuentes de energía y surgimiento de nuevos medios de transporte. La otra se dió en la mitad del siglo XX, en estas fechas se dio el surgimiento de la informática [1]. A partir de esto se tratan temas de automatización, comunicación entre diferentes equipos, impresión 3D, big data, radiofrecuencia, entre otros.

Con los avances en la tecnología y la electrónica es posible notar que la mayoría de dispositivos se conectan a internet, algunos de ellos son capaces de subir datos a internet y almacenarlos en una nube para que algún usuario pueda hacer uso de dichos datos [2]. Lo descrito anteriormente recibe el nombre de IoT, en el que los dispositivos se conectan a internet mediante redes de sensores, computadoras, tecnologías de información y comunicación, información distribuida y ubicada, entre otras, estos procesos permiten que las 'cosas' o dispositivos puedan recolectar datos sin que un usuario esté presente o intervenga en el proceso [2]. El IoT se encuentra presente en la mayor parte de nuestra vida, por ejemplo, en la salud, comercio minorista, seguridad, hogares, ciudades y agricultura inteligente, entre otras. Si nos referimos al entorno agrícola, la utilización de IoT se orienta a lidiar con la recolección de datos, de esta manera ayuda a los agricultores con un informe de los campos en los que laboren, esto desencadena en el aumento de la productividad y a aprovechar los recursos con los que se cuentan para la producción. Evitar catástrofes a tiempo puede ayudar a los productores a cumplir con la demanda en el tiempo establecido, mejorar los procesos de producción, y así también la calidad del producto y estabilidad del

mismo. [2]. Es importante tener en cuenta las ventajas antes mencionadas, ya que de ellas dependerá que la actividad agropecuaria sea funcional, como se menciona a continuación. Para nuestro país esta actividad significa un importante impulso económico por lo que, mejorar la calidad o la productividad, significará que el mercado ecuatoriano sobresalga, resultando en el aumento de la demanda.

De igual manera y debido a que para el Ecuador la producción y exportación de flores es un factor muy importante para su economía, como se verá en detalle mas adelante, se han comenzado a utilizar sistemas que permitan tener una mejora en los procesos de producción dentro de la agricultura. Actualmente existen ciertos proyectos enfocados hacia esto como se mencionarán posteriormente.

Para estar a la par, se ha planteado implementar un dispositivo que nos permita mejorar el proceso de producción de rosas tomando en cuenta los requerimientos nutricionales de las mismas para que tengan un óptimo crecimiento. Este dispositivo nos permitirá medir variables de nutrición del suelo para que se pueda determinar si el suelo tiene una composición óptima para el crecimiento de las rosas. Este dispositivo nos permitirá recolectar valores del suelo de nitrógeno, fósforo, potasio, temperatura, conductividad y pH. Estos valores se podrán visualizar de dos maneras, la primera es a través del propio dispositivo y la otra es a través del internet. Para la segunda manera se implementará mediante una Red Lora, en la cual cada dispositivo será un nodo de comunicación que se conectará a un Gateway en el cual se recibirán todos los datos de los nodos y serán enviados al Internet. Para la visualización en el Internet se realizará mediante la plataforma de Chirpstack, en la cual se podrá visualizar cada nodo y los datos que han recolectado.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

En los últimos años la actividad agropecuaria en Ecuador se ha convertido en un sector importante en la economía del país, contribuyendo con el 9.63 % al Producto Interno Bruto (PIB) [3]. Los productos obtenidos de este sector, son utilizados para la exportación hacia mercados internacionales. Entre los productos que son considerados a exportar se encuentran el camarón con el 28.5 %, banano y plátano con el 24.1 %, flores con el 6.4 % y el cacao con el 5.6 %. En el año 2019, las exportaciones de camarón crecieron un 22.0 %, banano y plátano un 2.5 % y flores un 2.5 % con respecto al 2018. Por otro lado el cacao registró una contracción del 3.0 % [3].

Dentro de las exportaciones del Ecuador, La floricultura, actividad que se dedica al cultivo de las flores, ocupa el tercer lugar detrás del camarón y el banano. En el 2019 las exportaciones de flores fueron de USD 874 millones en relación al valor FOB (Free On Board), se tuvo un crecimiento del 4.7 % a comparación del año 2018. Con respecto a las toneladas métricas de producción florícola se obtuvo un total de 87.433 toneladas. Según el Banco Central del Ecuador, en los últimos 5 años, la media de exportación alcanzó los USD 825 millones. En él 2019, el precio promedio por kilogramo aumentó de USD 5.40 a USD 5.52 [4]. Este crecimiento se debe a la demanda de flores de los diferentes mercados internacionales que tienen a Ecuador como su proveedor.

Debido a la alta demanda de flores, los productores de rosas de Ecuador se han visto en la necesidad de implementar sistemas que les brinde la posibilidad perfeccionar los procesos agrarios. Se ha demostrado que aplicar la tecnología en este sector mejora los procesos de producción, tal como se demuestran en los siguientes estudios: un seguimiento de las condiciones del suelo y riego para un cultivo urbano

en Cuenca [5], un estudio realizado en una plantación de maíz en Ecuador [6], el desarrollo de una plataforma inteligente para apoyo a los agricultores de plátano [7], monitoreo de invernaderos de tomate mediante una red de sensores inalámbricos [8], un sistema IoT basado en una red de sensores inalámbricos aplicado al monitoreo agrícola tomando como caso de estudio los cultivos de cacao en el Ecuador [9].

De igual manera, diversos trabajos de investigación han demostrado que aplicar las tecnologías en cultivos de flores optimiza el proceso de producción, como ejemplo podemos citar los siguientes: el *"Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en un invernadero de orquídeas"* [10], un *"Sistema inteligente de aprendizaje automático mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para el monitoreo de Oidium (sphaerotheca panosa) en el cultivo de rosas de exportación en el Ecuador"* [11]. Investigadores de la Universidad de las Fuerzas Armadas presentaron un *"Sistema registrador de crecimiento de la planta mediante el uso de técnicas de visión artificial para la clasificación del cultivo de rosas Freedom en el invernadero de la florícola High Connection Flowers de la parroquia Mulaló – provincia de Cotopaxi"* [12].

De igual forma, la compañía EcoRoses, utiliza tecnología europea para monitorear el proceso de producción de rosas. Esta tecnología recopila información y la analiza para tomar decisiones. Entre los datos que se analizan son: el tamaño de los tallos, las flores que faltan procesar, la fecha de embonche de los ramos, entre otras [13]. A pesar de haber demostrado la efectividad de la aplicación de la tecnología en los procesos de producción, las investigaciones analizadas evidencian el poco uso de las mismas para optimizar el proceso de supervisión en la nutrición del suelo en los cultivos de rosas. Debido a esto, actualmente, un porcentaje importante del producto final no cumple con los estándares o exigencias del mercado internacional, ya que no pueden cuantificar y cualificar los parámetros fitosanitarios establecidos para el óptimo crecimiento de la rosa. Para mitigar esta situación, y en función de los estudios previos en otros cultivos, se ha considerado aplicar tecnología de Internet de las cosas (IoT) para monitorear la nutrición del suelo en cultivos de rosas.

JUSTIFICACIÓN

En el 2019, Estados Unidos fue el primer socio comercial de Ecuador en el sector floricultor con el 45.3 %, le sigue la Unión Europea con 20.2 % y en tercer lugar Rusia con 14.7 %. Existen otros mercados como Canadá que aporta con 2.5 %, Ucrania con 2.4 %, Kazajistan 2.3 %, Chile 1.4 %, China 1.4 % y Japón con 2.1 %. Los demás mercados aportaron con el 8.7 % restante [4].

En Ecuador, según las cifras de Agrocalidad para el 2019, 4984 hectáreas de terreno fueron usadas para producción de flores. De esto el 71 % son usadas par cultivo de rosas, el 11 % para as demás flores de verano, 8 % para Gypsophila, 3 %para claveles, 2 % para cartuchos e hypericum y el 3 % restante para las demás flores [4]. En definitiva, los datos muestran que Ecuador basa parte de su economía exportando sus flores, por ello busca reforzar y optimizar su proceso de producción. Uno de los principales cultivos a monitorear es de rosas, en particular la nutrición del suelo. La literatura científica demuestra que un suelo bien nutrido permite óptimos cultivos. Los parámetros de nutrición más importantes pH en el suelo, niveles de Nitrógeno, Material Orgánico del Suelo (MOS), Nitrógeno total, Fósforo asimilable, Potasio asimilable, etc. Actualmente no existe tecnología de monitoreo de nutrición en cultivos de rosas implementada, todo el proceso se realiza de manera manualy artesanal, es por ello que se requiere de adquisición de datos de los procesos de nutrición del suelo para obtener una mejora en la producción de rosas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema para monitoreo de la nutrición del suelo en cultivos de rosas basado en Internet de las Cosas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudiar el proceso de cultivo de rosas y los requerimientos de nutrición del suelo en cultivo de rosas
- Realizar la revisión bibliográfica de las tecnologías basadas en IoT para el sector florícola y seleccionar el tipo de tecnología a implementar en el sistema de nutrición del suelo en el cultivo de rosas.
- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de nutrientes del suelo en cultivo de rosas basado en IoT y comprobar su funcionamiento.

DELIMITACIONES

Está enfocado en la medición de la nutrición del suelo, haciendo uso de diversas variables según investigaciones realizadas.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se analizan los tipos de rosas cultivados en Ecuador para exportación, así como, sus características, requerimientos nutricionales y los parámetros edafoclimáticos que influyen en su crecimiento. Adicionalmente, se explican las tecnologías que se implementaron en la realización del proyecto como son: Internet de las Cosas, Lora, Amazon Web Services y Chirpstack.

1.1. Rosas de exportación

En Ecuador existen aproximadamente 60 variedades de rosas que se cultivan para exportación [14], las principales son:

- Las rosas amarillas entre las que están: la Allsmer Gold y la Skyline.
- La rosa de pimpollos Anna Nubia.
- Las de color púrpura Ravel y Greta.
- Las de color rojo First Red, Classi, Mahalia, Madame Del Bar, Royal Velvet [15] y Freedom, entre otras [16].

Las variedades más solicitadas en el mercado internacional son: Skyline, Royal Velvet y Freedom. Se analizan las estas tres variedades, sin embargo, este estudio se va a centrar en la Freedom por ser la variedad más demandada.

1.1.1. Rosa Skyline

Sus flores son de tamaño mediano y alcanzan un diámetro de 6 a 8 cm, es extremadamente resistente mostrando de manera confiable un buen crecimiento de sus flores amarillas, como se puede observar en la figura 1.1. Se trata de un tipo de rosa popular entre los jardineros de rosas sin experiencia [17], algunas de sus características son [17]:

Características de la flor:

- Color: amarillo
- Tamaño de la flor: medio (5-10cm).
- Crecimiento: vertical.
- Altura de crecimiento: 200-300 cm.
- Hojas: caduco.
- Color de follaje: verde.



Figura 1.1: Rosa Skyline.

1.1.2. Rosa Royal Velvet

La rosa Royal Velvet es una rosa híbrida de té. Tiene un color rojo oscuro con tallos altos, pero no muy fuertes como se observa en la figura 1.2. Puede ser plantada cualquier día del año excepto en climas demasiado fríos [18]. Este tipo de rosas son ideales para adornar el jardín o para floreros [19]. Entre algunas de sus características se encuentran [18]:

- Altura: 50 - 150cm.
- Número de pétalos: 35-45.
- Tamaño de la flor: 7-10cm.
- Forma de la flor: de cuenco.
- Color de la flor: rojo.



Figura 1.2: Rosa Royal Velvet.

1.1.3. Rosa Sp Freedom

La rosa Freedom, que se muestra en la 1.3, es una de las más abundantes en el Ecuador. El invernadero High Connection Flowers de la Parroquia Mulaló en la Provincia de Cotopaxi tiene la mayor producción de este tipo de rosas[12].



Figura 1.3: Rosa Sp Freedom.

Esta rosa es una de las que más se comercializa dentro del mercado nacional e internacional, entre algunas de sus características están la calidad del botón y producción de tallos para flor de corte. Posee tallos largos, apertura del botón lenta, color rojo, largo periodo de duración en florero y resistencia al ataque de plagas y

enfermedades, haciendo que se clasifique como una variedad apta para la producción y cultivo en diversos climas [20]. Estas propiedades la hacen idónea para el mercado internacional. Por otro lado, las características más resaltantes de la Rosa Freedom son:

- Variedad: Freedom.
- Tipo: Híbrido de T.
- Color del botón: Rojo puro.
- Productividad: 110 tallos/m²/año.
- Tamaño del botón: 5.5cm.
- Número de pétalos: 30-35.
- Longitud del tallo: 70 a 90cm.
- Vida en florero: 13-15 días [21].

1.2. Requerimientos nutricionales de la planta

En esta sección se presentan los requerimientos de la rosa para una óptima producción como lo son el pH, nutrientes del suelo y parámetros edafoclimáticos. Adicionalmente, se analiza cómo los factores climáticos como la humedad influyen en la nutrición de la planta.

1.2.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

El Potencial de Hidrógeno, es un factor que indica si una solución o sustancia, es ácida, alcalina o neutra [22]. El pH influye directamente en la adsorción de los nutrientes provenientes del suelo en la planta. El rango de magnitud para analizar el pH es de 0 a 14, para ello, se utilizan dispositivos que son diseñados para medir la concentración de hidrógeno. Para tener una referencia, se considera el valor de 7 como neutro, la sustancia no es ácida ni alcalina, si es superior a 7 se estima que es ácido y si es menor a 7 es alcalina [23].

Los rosales deben mantener un pH en torno a 6 [24]. Para lograr este nivel de pH el suelo debe estar drenado y aireado con el fin de evitar acumulaciones de agua que diluyen el pH [25]. La disponibilidad de nutrientes esenciales en la planta dependen de los valores de pH presentes en el suelo [22].

1.2.2. Nutrientes del suelo

El rango del pH en el suelo influye en el aprovechamiento de los nutrientes que la planta requiere y depende del tratamiento del mismo para que la planta pueda recibir los nutrientes necesarios. Fainstein, en su libro “Manual para el cultivo de rosas en Latinoamérica” [24], indica que de los 16 elementos químicos necesarios para el desarrollo del rosal, son derivados del suelo y son absorbidos por las raíces, aunque pueden ser absorbidos en pequeñas dosis por las hoja. La tabla 1.1, indica la influencia que ejerce el pH en la absorción de los diferentes nutrientes.

Tabla 1.1: Asimilación de nutrientes: rango óptimo de pH del suelo

Elemento	Rango óptimo de pH para asimilación del elemento
Nitrógeno (N)	6.0-8.0
Fósforo (P)	6.5-7.5 y 8.7-10
Potasio (K)	6.5-7.5 y 8.7-10
Azufre (S)	6.0-10
Calcio (Ca)	7.0-8.5
Magnesio (Mg)	7.0-8.5
Hierro (Fe)	4.0-6.0
Manganeso (Mn)	5.0-6.5
Boro (B)	5.0-7.0
Cobre (Cu)	5.0-7.0
Molibdeno (Mo)	7.0-10
Zinc (Zn)	5.0-7.0

En este proyecto se consideran los elementos nutricionales con mayor influencia para el óptimo crecimiento de las rosas, como lo son: el Nitrogeno, fósforo y el potasio.

Nitrógeno (N):

La predominancia de N en su forma orgánica en el suelo puede ser procesada a una forma asimilable por las plantas debido a que es absorbido por microorganismos y cambiada a la forma mineral, la cual es asimilable por las plantas luego de la

muerte de los microorganismos. El paso de N a su forma mineral es conocido como mineralización. Tener una concentración de pH de 7 ó 9 va a contener 0.4 % y 36 % del total de N en la forma NH_3 (Amoniac) [26].

1. **Nitrógeno en el metabolismo de la planta:** Antes de que el nitrógeno realice las funciones en la planta, este sufre un proceso de metabolización el que se crean aminoácidos que generan proteínas, coenzimas, vitaminas, pigmentos y bases nitrogenadas, que cumplen ciertas funciones específicas en la vida de los vegetales. Además, estimula el crecimiento rápido de la planta y favorece la síntesis de clorofila, aminoácidos y proteínas [27]. La concentración en el suelo debe ser de 3 a 4 % [28].
2. **Presencia de otros nutrientes:** La presencia de Potasio (K) puede incrementar la absorción de Nitrógeno. El K transportaría malato a la raíz que realiza la descarboxilación a través de su metabolismo oxidativo [26].

La presencia de fósforo aumenta la absorción de N, especialmente nitrato. Magalhaes en un estudio realizado observó que retirar el fósforo por 2 días redujo la absorción de nitrato en un 63 % en plantas de maíz.

Fósforo (P)

Normalmente algunos suelos tienen una mínima concentración de fósforo disponible y mayor potencial para la fijación del mismo mediante el uso de fertilizantes.

En el suelo, el 20-80 % del total de fósforo se encuentran de forma orgánica. Luego de haber aplicado este nutriente en el suelo, ocurren una serie de transformaciones [26]. Por ejemplo, una de ellas puede observarse en el crecimiento de la raíz de la planta, formación de la semilla, respiración de la planta, entre otros [28]. La concentración en el suelo debe ser de 0.2 a 0.3 % [26].

1. **Efecto del pH:** El pH es un factor que afecta la disponibilidad de Fósforo en el suelo. Con un pH de 6.5 o cercano a este valor hay una excelente disponibilidad de esta solución en el suelo, de igual forma, se incrementa la absorción en la

planta. La presencia de otros iones en la solución como el Magnesio influye en la absorción del nutriente, ya que este funciona como transportador de fósforo e influye en la captación y la generación de ATP en la fotosíntesis y la respiración [26].

2. **Fósforo en el metabolismo de la planta:** A diferencia del nitrógeno, el $H_2PO_4^-$ (Fosfato de dihidrógeno) en forma oxidada permanece en la misma forma en la que fue absorbido. En las plantas, el fósforo absorbido por las células se metaboliza rápidamente. En 10 minutos la mayor parte del fosfato se incorpora a los compuestos orgánicos [26].
3. **Deficiencia y exceso de nutrientes:** Existen ciertas características o síntomas que permitirán notar si una planta posee deficiencia o exceso de este nutriente, por ejemplo, si hablamos de la deficiencia del fósforo, algunas de las características resumidas que lo hacen notorio son:
 - Decrecimiento del desarrollo, que ocurre en la mayoría de las especies y aparición de plantas atrofiadas.
 - Color verde oscuro o manchas rojas en las hojas viejas, aparición de un color púrpura (estrés hídrico y el daño a la raíz también puede causar color púrpura) o color rojizo en otras especies.
 - Ángulo de inserción de hoja estrecha.
 - Floración reducida, número reducido de frutos y semillas e incluyendo madurez tardía [26].

Potasio

Generalmente, los suelos tropicales tienen bajas concentraciones de Potasio (K) disponible. El potasio puede encontrarse en diferentes formas, por ejemplo, el K fijo no intercambiable y K-fertilizantes que alimentan el comportamiento de K intercambiable, además de la solución de K, que puede ser absorbido por la planta [26].

1. **Absorción de potasio:** Antes de la absorción de Potasio en la planta, debe haber contacto entre la raíz y el nutriente, para esto el potasio debe viajar del suelo a la

raíz, para que existe dicho contacto debe existir un alto índice de humedad en el suelo [26].

2. **Potasio en el metabolismo de la planta:** Este parámetro cumple la función de activador de enzimas, más de 60 tipos de enzimas dependen del Potasio para mantener sus actividades, se encuentra relacionado con la conformación de moléculas y con el mantenimiento del nivel de pH adecuado para el funcionamiento de las células [26].
3. **Deficiencia de potasio en la planta:** Generalmente, la deficiencia de K en los cultivos se caracteriza por clorosis y necrosis foliar, inicialmente en las hojas más viejas. En algunos cultivos, la deficiencia de K desarrolla hojas de color verde oscuro o verde azulado, similar a la deficiencia de P, también puede provocar el decrecimiento de la raíz. Por otro lado, una buena absorción de potasio ayuda en la resistencia de enfermedades, fuerza al tallo y calidad de la semilla [27]. La concentración en el suelo debe ser de 1.8 a 3 % [28].

1.2.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica o CE, se denomina como la medida de suficiencia de la tierra para conducir la corriente eléctrica, se utiliza como un indicador de sales presentes en el suelo, dado que, mientras más alto sea el valor de esta variable, mayor será la manifestación de las mismas [29]. Mientras menor sea la concentración de sales también disminuirá la capacidad de las raíces de la planta para absorber el agua [30]. Si la planta tiene que realizar mayor esfuerzo para absorber nutrientes traerá como consecuencia un gasto de energía adicional, lo cual desencadenará en un rendimiento de la producción del cultivo.

1.2.4. Parámetros edafoclimáticos

Humedad

Las rosas requieren valores de humedad relativas altas para tener un crecimiento adecuado. Se estima que un rango óptimo es de 70 a 80 % para la mayoría

de rosa [31]. En el caso de que la humedad supere el 80 % es más probable que haya problemas fungosos y, en el caso de que baje del 60 % y estén presentes temperaturas altas, los tallos se vuelven más delgados y los botones más pequeños [24].

1.3. Internet de las Cosas (IoT)

Existen varias definiciones de IoT, una de ellas está dada por la consultora Garter, que lo define como “la red de objetos físicos con tecnología embebida que les permite comunicar, sentir o interactuar con su estado interno o con su entorno exterior”. Al hablar de IoT, se habla de objetos conectados a internet, los cuales tienen la capacidad de reconocer su entorno y tomar decisiones de acuerdo a la información que reciben [32].

Kevin Ashton, por otro lado, se refiere a IoT como la forma de conectar objetos con tecnología de identificación de radiofrecuencia (RFID). Se trata de un concepto que se mantiene en formación, pero generalmente era definido como “infraestructura de red global de dinámica con capacidades de auto configuración basadas en estándares y protocolos de comunicación” [33].

1.3.1. Beneficios del IoT

En IoT, la información incrementa de valor debido al número de interconexiones entre las cosas y la transformación de la información en conocimiento para el beneficio de la sociedad. Internet de las cosas podría permitir a las personas y a las cosas conectarse en cualquier lugar, utilizando cualquier ruta de red y servicio. Así, se tendría que emitir una señal que los objetos reconozcan, conecten y envíen la información solicitada [34].

1.3.2. Aplicaciones de IoT

Entre algunas de las aplicaciones del Internet de las Cosas están:

- Ciudades inteligentes.
- Agua inteligente.

- Seguridad y emergencias.
- Agricultura inteligente.
- Granja inteligente.
- Domótica y automatización del hogar.
- Salud [34].
- entre otras.

1.3.3. Tecnologías usadas para IoT

Generalmente, las redes empleadas en IoT son inalámbricas, entre las que se destacan: 3G, 4G, Bluetooth, Zigbee, entre otros [35]. Adicionalmente, IoT emplea redes LPWAN, que permite conectar dispositivos se conecten a distancias considerables, con ahorro energético. Las Lpwan permite cubrir distancias con un rango de varios kilómetros. La cantidad de datos transmitida y el bajo consumo eléctrico dado que el protocolo está fundamentado en aplicación de dispositivos que usen baterías con período de duración de un año. Entre las LPWAN más comunes están, Sigfox, LoRaWAN, NB'Iot, Weightlessy RPMA [36]. La tabla 1.2 muestra una comparación entre algunas de las redes más usadas para IoT.

Tabla 1.2: Comparación entre Lora, Sigfox y Zigbee

Características	LoRa	Sigfox	Zigbee
Frecuencia	EU: 868 MHz US: 915MHz	EU: 868 MHz US: 915MHz	2.4 GHz EU: 868 MHz US: 915MHz
Modulación	CSS	UL: UN DBPSK DL: GFSK	DSSS en la banda de 2.4 GHz
Ancho de Banda	50 250 kHz y 125 kHz	100 hz	5 MHz 250 kbps
Max velocidad de datos	50 kbps	EU: 100 bps US: 600 bps	40 kbps (2.4 GHz) 20 kbps (915/868 MHz)
Rango	Urbano: 5 Km Rural: 20 Km	Urbano: 5 Km Rural: 40 Km	Menor a 50 m

Actualmente podemos disfrutar de agricultura inteligente como consecuencia de la implementación de dispositivos, herramientas, activos y recursos. Sin embargo, esta implementación tecnológica normalmente requiere una solución inalámbrica de

alcance significativo para transmisión de datos a largas distancias. Una red aérea

de largo alcance (LPWAN) es una solución tecnológica adecuada para operaciones agrícolas inteligentes. Entre las tecnologías mencionadas anteriormente, LoRa presenta capacidades de comunicación de largo alcance y se ha convertido en una LPWAN común por su capacidad de comunicación en baja potencia y bajo costo [37].

1.4. Long Range (LoRa)

LoRa es la capa física del protocolo LoRaWAN, con la que se puede hacer una comunicación inalámbrica en bajo consumo a largas distancias [38]. El uso de un solo Gateway puede cubrir una distancia considerable, esto dependerá del entorno en el que se encuentre ubicada.

LoRa usa frecuencias menores a 1GHz, en bandas de acuerdo al país o región [38]:

- **Europa:** Banda ISM de 863-870 con 8 canales. BW: 0.3 MHz.
- **América:** Banda ISM de 902-928 MHz, 13 canales. BW: 2.16 MHz.
- **Asia:** Banda de 433 MHz.

En LoRa se usa una técnica de modulación desarrollada por Semtech, fundada por Chirp Spread Spectrum, utiliza tres parámetros para la modulación, lo cual le brindadas características de robustez y velocidad de bits:

1.5. Amazon Web Service (AWS)

Amazon Web Services, se trata de un distribuidor de múltiples servicios en la nube, está creada para que proveedores de software independientes puedan alojar sus aplicaciones. Permite escoger el sistema operativo, lenguaje de programación, base de datos, entre otros servicios que llegase a necesitar [39].

1.6. Chirpstack

Se trata de un servidor para establecer una red LoRaWAN de código abierto, permite formar redes LoRaWAN privadas o públicas y gestionar los gateways,

dispositivos, etc. Da paso a la posibilidad de modelar las integraciones de datos, bases de datos y servicios usados usualmente para administrar datos de dispositivos. Alberga dispositivos de clases A, clase B unidifusión y multidifusión y clase C unidifusión y multidifusión [40].

Chirpstack posee velocidad de datos adaptativa, le da la característica de controlar la velocidad de datos y la potencia de transmisión, permitiéndole al dispositivo usar menos tiempo aire y energía para enviar la misma cantidad de datos. Resulta beneficioso para el ahorro energético del dispositivo y optimización de espectro [40].

LoRa, dependiendo de la región en la que se use, tiene diferentes frecuencias libres que se pueden usar. En la tabla 1.3 se muestra las regiones con las que cuenta la red LoRa y con las que se puede trabajar dentro de Chirpstack. De igual manera Chirpstack trabaja con ciertas versiones de LoRa que van desde la 1.0.0 hasta la 1.0.4 y la 1.1.0.

Tabla 1.3: Regiones de LoRa

REGIONES LoRa	
AS923, AS923-2, AS923-4	AU915
CN470	CN779
UE433	IN865
KR920	RU864
US915	ISM2400(LoRaWAN)

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se da una breve descripción de los módulos y sensores que se usaron para el desarrollo del sistema, la forma de comunicación entre cada uno, el tipo de comunicación inalámbrica y sus detalles, el diseño de la placa PCB y la caja en la que estarán colocados todos los módulos y sensores.

2.1. Módulos y sensores

2.1.1. Cube Cell HTCC-AB01

Estas tarjetas desarrolladas por Heltec, como se muestra, en la figura 2.1, incorpora los chips ASR650x compatibles con Arduino, permite establecer nodos LoRaWAN estables, conectar fácilmente baterías de Litio y paneles solares para su alimentación [41].

Características de Hardware

- La salida de señal LoRa se ubica en el rango de potencia de 22 (± 1) dBm.
- Soporta comandos AT.
- Versión LoRaWAN 1.0.2
- Basado en el chip CP2102 (puerto serie a USB).

- Interfaz micro USB con protección ESD, protección contra cortocircuitos, blindaje RF, etc.
- En la versión de hardware HF soporta las frecuencias: IN865, EU868, US915, AU915, KR920, AS923.
- Interfaz: Micro USBx1, LoRa Antenna interfaz(IPEX)x1, 11x2.54 pin x2 2x2.54 pin x1.
- Flash: 128KB.
- RAM: 16KB.
- Frecuencias que soporta en la versión de hardware LF: EU433, CN470 [42].

Características Eléctricas

- Puede alcanzar 3.5 uA en modo Deep Sleep, incluso con el reloj RTC en funcionamiento, y en la transmisión de datos puede llegar a 105 mA.
- Gestión energética incluida, puede conectarse un panel solar de 5-7V, soporta baterías de litio de 3.7V.



Figura 2.1: Cube Cell HTCC-AB01.

2.1.2. Sensor NPK para medir Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Conductividad eléctrica (CE) y pH

Este sensor es adecuado para medir parámetros del suelo como temperatura, humedad, salinidad total del suelo, pH del suelo, nitrógeno, fósforo y potasio, es el que

se muestra en la figura 2.2. La medición de estos siete parámetros facilita la evaluación de las condiciones del suelo.



Figura 2.2: Sensor NPK.

Presenta varias características entre las que se pueden destacar una alta precisión, respuesta rápida y una salida estable. Puede enterrarse por mucho tiempo en el suelo, es completamente impermeable y presenta resistencia a la electrólisis y corrosión [43].

Características

- Alimentación de 4.5 - 30V.
- Con una fuente de 24V DC, consume como máximo 0.5W.
- Temperatura de trabajo de -20°C a +60°C.
- El largo de cable por defecto es de 2M.
- Dimensiones: 45*15*132mm

Aplicaciones

Es utilizado en experimentos científicos, riego, invernaderos, flores, vegetales, pastizales, pruebas rápidas de suelo, agricultura, plantas de tratamiento de aguas residuales, acumulación de granos y la evaluación de varios contenidos de agua y temperatura [43].

Parámetros de funcionamiento

En la tabla 2.1 se muestra los parámetros de funcionamiento del sensor NPK.

Tabla 2.1: Parámetros de funcionamiento del sensor NPK

Parámetro	Valor
Alimentación	12-24V
Señal de salida	RS485
Temperatura Ambiente de almacenamiento	-20°C a 60°C
Rango de presión de trabajo	0.9 a 1.1 atm
Tiempo de respuesta	<1s
Nivel de protección	IP68

Parámetros de medición

En la tabla 2.2 se puede observar los parámetros de medición del sensor NPK.

Tabla 2.2: Parámetros para medición del sensor NPK

Parámetro	Contenido	
Temperatura	Rango	-40°C a 80°C
	Precisión	+/-0.5°C
	Resolución	0.1°C
Humedad	Rango	0-100 %
	Precisión	+/-3 % (0-53 %) y +/-5 % (53-100 %)
	Resolución	0.1 %
Conductividad	Rango	0-10000 $\mu\text{s/cm}$
	Resolución	10 $\mu\text{s/cm}$
	Rango	3-9 pH
pH	Precisión	+/-0.3 pH
	Resolución	0.01 pH
	Rango	0-1999 mg/kg
NPK	Precisión	+/-2 F.s
	Resolución	1 mg/kg (mg/l)

Cómo conectar

El sensor posee 4 cables para conexión de los cuales dos son para alimentación y los dos restantes para transmisión de datos [43].

En la figura 2.3 se muestra la secuencia de conexión de los cables.

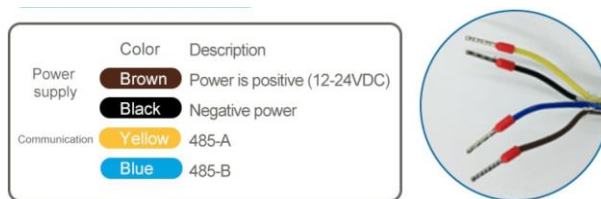


Figura 2.3: Pines del sensor.

Formato de datos

En el protocolo MODBUS-RTU, el formato es el siguiente:

- Estructura inicial: ≥ 4 byte time
- Address code = 1 byte. Representa la dirección del sensor, la cual es única en la red de comunicación (dirección por defecto 0x01).
- Function code = 1 byte. Este comando es usado por el Host y solo usa el código 0x03.
- Data area = N bytes. Datos de comunicación.
- Error check = 16 bit CRC code. Este es un código de verificación de dos bytes.
- End structure \geq a byte time [43].

El cuadro de interrogación de datos para el sensor NPK se indica en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Cuadro de interrogación NPK

Código de dirección	Código de función	Dirección de inicio de registro	Largo de registro	Código de control bajo	Código de control alto
1 byte	1byte	2 byte	2 byte	2 byte	2 byte

La tabla 2.4 detalla el frame de respuesta que se recibe desde sensor NPK.

Tabla 2.4: Cuadro de respuesta NPK

Código de dirección	Código de función	Cantidad de bytes válidos	Área de datos 1	Área de datos 2	Área de datos N	Código de verificación
1 byte	1byte	2 byte	2 byte	2 byte	2 byte	2 byte [43]

Para poder acceder a los registros de los datos del sensor se cuenta con ciertas direcciones que se detallan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Direcciones de registro

Dirección	Contenido	Operación
0003H	Valor de pH (Unidad: 0.01 pH)	Lectura
0001H	Humedad del suelo (Unidad: 0.1 % RH)	Lectura
0000H	Temperatura del suelo (Unidad: 0.1 C)	Lectura
0002H	Conductividad del suelo (Unidad: 1 μ s/cm)	Lectura
0004H	Nitrógeno del suelo (Unidad: mg/kg)	Lectura
0005H	Fósforo del suelo (Unidad: mg/kg)	Lectura
0006H	Potasio del suelo (Unidad: mg/kg)	Lectura
0100H	Dirección del dispositivo (0-255)	Lectura
0101H	Baud Rate (2400/4800/9600)	Lectura y escritura

2.1.3. Sensor de humedad anticorrosivo FC-38

El sensor FC-38 es un higrómetro que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. Este tiene una salida analógica y una salida digital. Los valores que se obtienen con un microcontrolador van desde 0 cuando está sumergido en el agua, hasta 1023 cuando está en el aire o es un suelo seco. A diferencia de otros sensores este tiene un material cubierto que lo protege de la oxidación [44].

La alimentación de este sensor puede ir de 3.3V hasta los 5V. Además, la placa cuenta con un potenciómetro, como se muestra en la figura 2.4 para ajustar el nivel umbral en el que se va a activar la salida digital del sensor [45].



Figura 2.4: Sensor de humedad HD-38 anticorrosivo.

2.1.4. Módulo MAX485

Se trata de un transceptor de baja potencia para comunicación RS-485, RS-422. Cada par contiene un conductor y un receptor.

Las velocidades de respuesta de este controlador no están limitadas, por lo que le permite transmitir hasta 2,5 Mbps. Las especificaciones de este controlador indican que consumen entre 120uA y 500uA cuando están descargados o completamente cargados con controladores deshabilitados [46].

Este módulo, que se muestra en la figura 2.5, permite conectar microcontroladores como Arduino a distancias de hasta 1km utilizando RS485. Permite comunicación tipo half-duplex, en el caso de desear implementar full-duplex se debe utilizar 2 módulos[47]. Entre algunas especificaciones están:

- Alimentación: 5V.
- Corriente: 500uA.
- Chip: MAX485.
- Interfaz: UART TTL.
- Tipo de comunicación: Half-Duplex.
- Velocidad: 10 Mbit/s (a 12 metros).
- Distancia máxima: 1200 metros (a 100 Kbit/s).
- Dimensiones: 44x14x20 mm.
- Peso: 4 gramos [47].

En la figura 2.5 se muestra el módulo MAX-RS485 junto con sus pines de conexión.

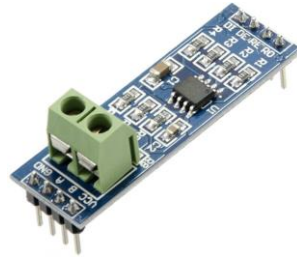


Figura 2.5: Módulo MAX485.

2.1.5. Elevador de Voltaje MT3608

Se trata de un módulo cuyo objetivo es aumentar el voltaje de ingreso y entregar a la salida un voltaje regulado y constante. Dependiendo del ingreso puede entregar un voltaje desde 2V hasta 28V [48].



Figura 2.6: Elevador de voltaje MT3608.

Características

- Voltaje de ingreso de 2V a 24V.
- Límite de corriente del interruptor interno 4A.
- Voltaje de salida ajustable.
- Compensación interna.
- Modo automático de modulación de frecuencia de pulsos para cargas ligeras [49].

2.1.6. Conversor de nivel TXS0108E

Es un módulo conversor de nivel no inversor de 8 bits que utiliza dos rieles de fuentes de alimentación configurables separadas. El puerto A (pin V_A), acepta valores

de voltaje entre 1.4V y 3.6V. El puerto B (V_B), acepta valores de voltaje entre 1.65V y 5.5V. Dos pines de entrada permiten una traducción bidireccional de bajo voltaje entre cualquiera de los nodos de voltaje de 1.5V, 1.8V, 2.5V, 3.3V y 5V [50]. Cuando el pin de ingreso (OE) es bajo, todas las salidas se colocan en el estado de baja impedancia (Hi-Z) [50].

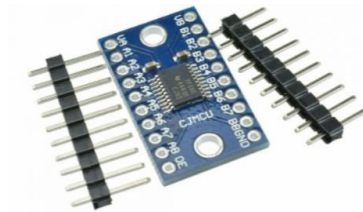


Figura 2.7: Conversor de nivel.

Características

- Todas las salidas están en estado de alta impedancia.
- No se necesita señal de control de dirección.
- Tasas máximas de datos: 110 Mbps (push pull), 1.2 Mbps (colector abierto).
- No se requiere secuenciación en la fuente de alimentación, se puede aumentar primero V_{CCA} o V_{CCB} [50].

2.1.7. Display OLED

Un OLED (Organic Light-Emitting diode) es un LED que emite luz en respuesta a la electricidad [51].

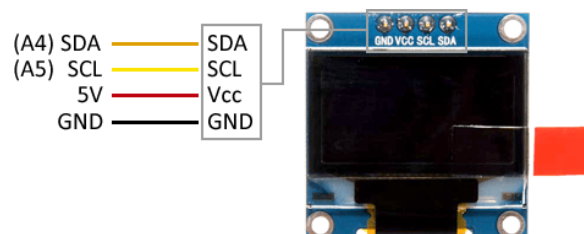


Figura 2.8: Pantalla Oled.

Características

- Tamaño 0.96 pulgadas.
- Driver: SSD1306.
- Interfaz: I2C.
- Resolución: 128x64 píxeles.
- Color del Display: monocromo.
- Visibilidad en ambientes luminosos [51, 52].

Parámetros de funcionamiento

- Voltaje de alimentación: 1.65V min, 5.5V max.
- Temperatura: -40°C min, +80°C max.
- Temperatura de almacenamiento: -40°C min, +85°C max.
- Consumo: 20mA (a 3.3V) [52].

Algunas de las aplicaciones de este tipo de pantallas se encuentran en equipos médicos, industriales, de audio o proyectos electrónicos, entre otros [51].

2.1.8. TP4056

Es un módulo de carga para celdas de iones de litio. Sirve para cargar baterías 18650 y una variedad de celdas de 3.7V. Incluye un IC TP4056. Este módulo incluye dos diodos led indicadores de carga de batería. La corriente de salida máxima es de 1A hacia alimentación de circuito [53].

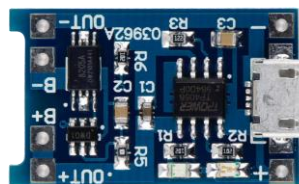


Figura 2.9: Cargador de batería TP4056.

Entre algunas de las características de este módulo tenemos:

- Voltaje de ingreso 4 - 8V.
- Corriente suministrada a la batería: 1200mA.
- Corriente en modo de espera: 100 μ A max [54].

2.2. Gateway LoRa MileSightUG67

Un Gateway puede considerarse como un elemento clave para establecer una red inalámbrica LoRaWAN, este dispositivo permitirá recibir la información que brinden los nodos o para comunicarles a los mismos las nuevas ordenes, también tiene la funcionalidad de comunicar al sistema con el Servidor, para ello utiliza comunicación TCP/IP [55]. El modelo usado es el Gateway Milesight UG67 que se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.10: Gateway Milesight para red LoRaWAN.

Este Gateway tiene las siguientes especificaciones:

- Conector RJ45.
- Alimentación: conector M12 para 12V.
- Consumo > 3.6W (máximo 4.8W).

- Protección IP67.
- Dimensiones 250 x 172 x 92mm.
- Montaje: a pared o en poste [56].

Entre las características para LoRaWAN podemos mencionar:

- Dos antenas de 50 ω .
- Número de canales: 8.
- Bandas de frecuencia: CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923.
- Sensibilidad de la antena -140 dBm.
- Protocolos de trabajo: V1.0 (Clase A, Clase B, Clase C) y V1.0.2 (Clase A, Clase B, Clase C) [56].

2.3. Placa PCB

El diseño de la placa se desarrolló con ayuda del Software Altium Designer. En la placa se desea ubicar los siguientes módulos: Cube Cell, MT3608, MAX485 y TXS0108E, además de cinco conectores para conexión de la pantalla OLED de 0.96 pulgadas, sensor NPK, sensor de humedad, batería de litio y cargador de batería TP4056. También se incluye un diodo Led que nos indica cuando el dispositivo está prendido. Todas estas consideraciones se pueden observar en la figura 2.11.

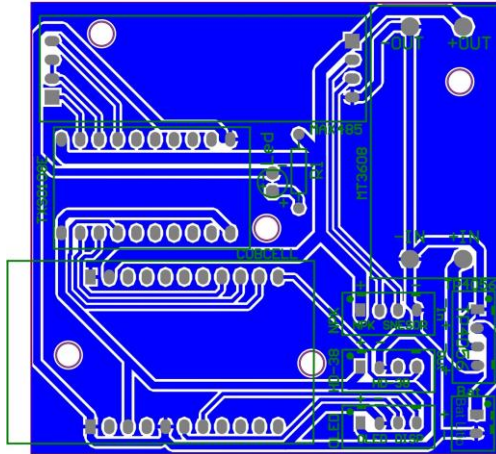


Figura 2.11: Placa en vista 2D.

En la figura 2.12 se puede observar el diseño de la placa en vista 3d con todos sus componentes.

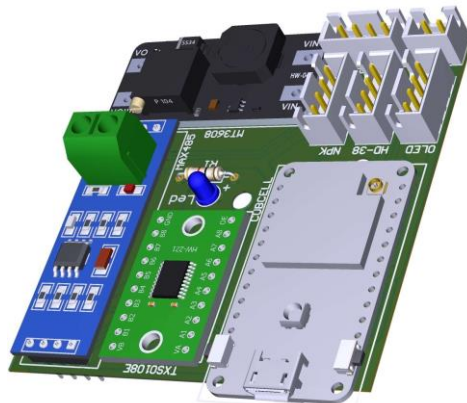


Figura 2.12: Placa vista en 3D.

2.4. Caja para aplicaciones IoT

Para protección de la placa y de los módulos restantes, se diseñó una caja en el software Fusion360 para luego imprimirla en 3D. Esta se diseñó tomando en cuenta los tamaños y posiciones de: la placa PCB, batería, cargador de batería, pantalla OLED, un switch para encendido y pagado, un agujero para la antena y dos soportes en la parte posterior para colocarla en la pared con tornillos. Esto se evidencia en la imagen 2.13.



Figura 2.13: Vista frontal-lateral-interior de la caja.

De igual forma se diseñó la tapa para sellar la caja. La imagen 2.14 muestra la vista posterior-izquierda de la tapa. En la parte de adentro de la caja se tiene una extrusión para poder colocar el módulo del sensor de humedad HD-38.



Figura 2.14: Vista posterior-izquierda de la tapa.

Cabe recalcar que la caja cuenta con una salida para la antena LoRa de 915MHz en la parte izquierda. De esta manera cada caja cuenta como un nodo de comunicación que se enlazará con el Gateway. Mas detalles de la caja, como las medidas y ubicación de componentes se puede observar en los apéndices de la página 51.

2.5. Esquema de comunicaciones

2.5.1. Comunicación del Cube Cell hacia los módulos y sensores

El Cube Cell recolecta valores señales de dos sensores, el primero es el sensor de humedad que se comunica por medio de una entrada analógica hacia el módulo, los datos se guardan en una variable tipo entera y en dos variables de tipo byte, el segundo es un sensor NPK que se comunica por medio de un Serial (Tx-Rx, simulado), para esta comunicación se usan dos tipos de variables para el almacenamiento y envío a la red LORA, la primera es un vector tipo byte donde se reciben todos los datos que envía el sensor, y variables tipo entero donde se guardan los valores concatenados que se van a mostrar en la pantalla. Esto se puede observar en la figura 2.15.

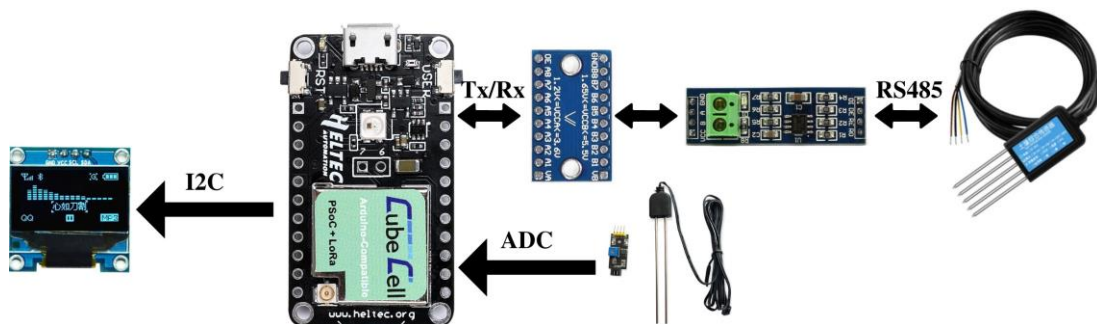


Figura 2.15: Esquema de comunicaciones del Cube Cell hacia sensores y pantalla OLED.

La conversión de datos de UART a RS485 se realizó mediante el módulo MAX485 y, para la adaptación de niveles de voltaje se usó el módulo TXS0108E. La conexión con la pantalla se realizó mediante interfaz I2C entre el Cube Cell y la pantalla.

2.5.2. Topología de la red

Para conexión entre los nodos y el Gateway se usa una red tipo estrella en la cual el microcontrolador de cada nodo recolecta los datos de los sensores y los envía al Gateway por medio de la Red LORA a la frecuencia de 915MHz permitidos en Ecuador, y este a su vez envía los datos a la página de Chirpstack que usa el Servidor de AWS.

Dentro de esta página se pueden observar los datos recolectados. La topología de la red se puede observar en el diagrama de la figura 2.16.

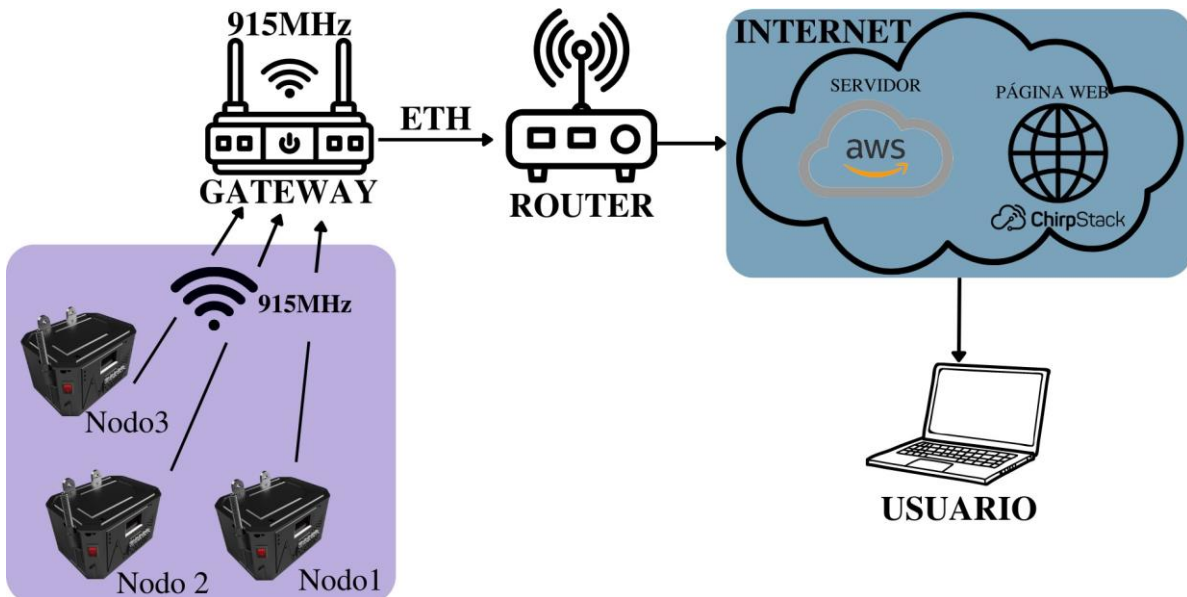


Figura 2.16: Esquema de comunicaciones inalámbrica de la red.

2.5.3. Alimentación

Para la alimentación de los diferentes módulos y sensores se usó una batería de litio de 3.7V junto con un elevador de voltaje a 5V. El esquema de alimentación se muestra en la figura 2.17.

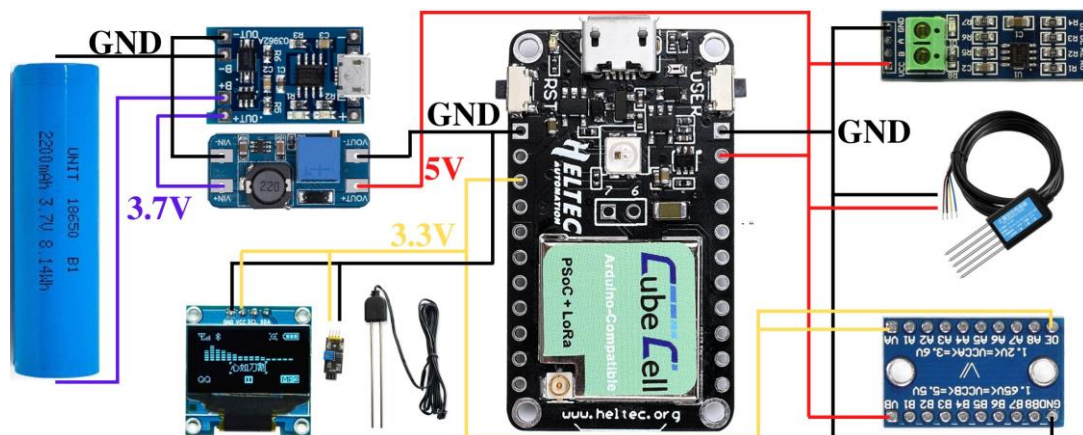


Figura 2.17: Esquema de alimentación eléctrica.

2.6. FLORES DEL LAGO FLORLAGO CIA LTDA (ECUADOR)

Florlago es una florícola en la que se producen diversas variedades de flores para comercialización y para exportación. Está ubicada en Jacarín y Guabizhun, Déleg de la provincia del Azuay. En la figura 2.18 se puede observar un mapa de la ubicación de la florícola.

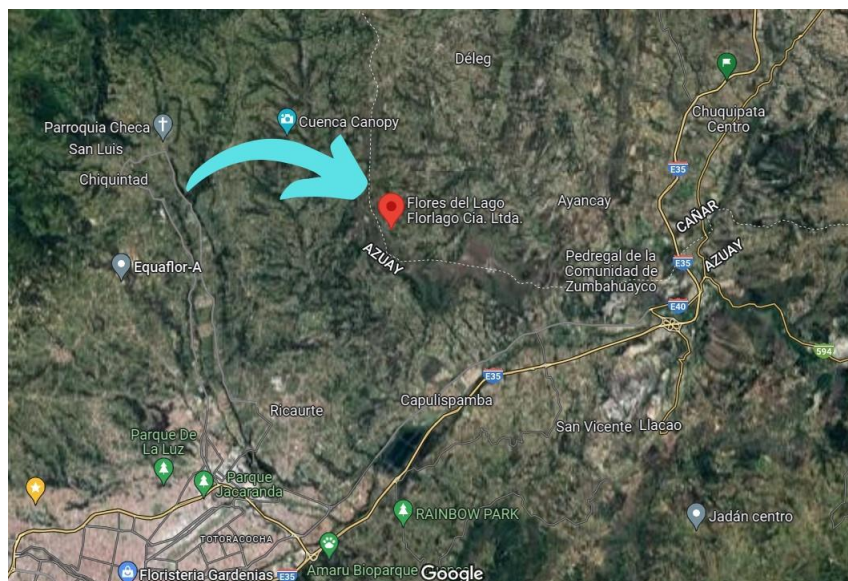


Figura 2.18: Ubicación Florlago - Imagen satelital tomada desde Google Maps.

Este lugar fue escogido para realizar las pruebas de los dispositivos ya que cuenta con varios invernaderos con cultivos de rosas. El invernadero que se escogió es el #11 debido a que, cuenta con dos variedades de rosas: Freedom y Mondial; también porque es el más alejado de donde se pretende colocar el Gateway LoRa para poder comprobar el envío y recepción de datos.

Los lugares en los que se planea colocar los nodos se pueden observar en la figura 2.19.

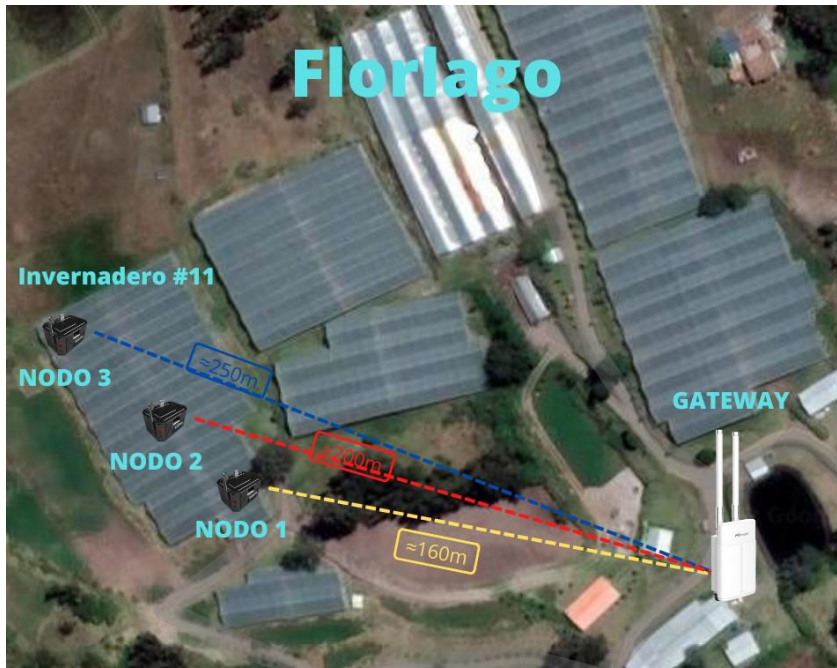


Figura 2.19: Florlago. Ubicación de dispositivos - Imagen satelital tomada desde Google Maps.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. Nodos

Cada nodo es un dispositivo como se muestra en la figura 3.1, En esta se observa la caja que contiene el microcontrolador y los módulos y los dos sensores que se encargan de obtener los valores nutricionales del suelo.



Figura 3.1: Nodos para sensado, recolección y envío de datos.

La figura 3.2 muestra la parte interna de la caja y la ubicación de los componentes tal como se indica en los apéndices de la página 51. Además, se puede observar los agujeros por los que salen los sensores que se encuentran en la parte

inferior derecha de la caja y los dos soportes que se encuentran en la parte lateral izquierda, que sirven para sujetar los nodos en el lugar que se desee colocar.



Figura 3.2: Configuración interna de cada nodo.

3.2. Consumo teórico de corriente

Realizando un cálculo teórico del consumo de corriente, según la tabla 3.1, el circuito consume 80.635mA en el modo sleep y 105.6mA cuando envía los datos recolectados del nodo. Para saber este consumo se tomaron como referencia los datos de consumo teóricos que nos indica en las hojas de datos de cada módulo.

Tabla 3.1: Consumo de corriente teórico del circuito

Módulo	Consumo de corriente (mA)
Cube Cell	Modo sleep: 0.035 Modo transmisión (20 dBm): 105
MAXRS485	0.5
Sensor NPK	20
Sensor de humedad	20
Pantalla OLED	40
TP4056	0.1
Consumo Total	80.635mA (Cube Cell modo Sleep) 105.6mA (Cube Cell modo transmisión)

3.3. Consumo de corriente real del circuito

En la imagen 3.3 se graficó, con ayuda del software Matlab, los datos de consumo de corriente del circuito obtenidos desde el osciloscopio.

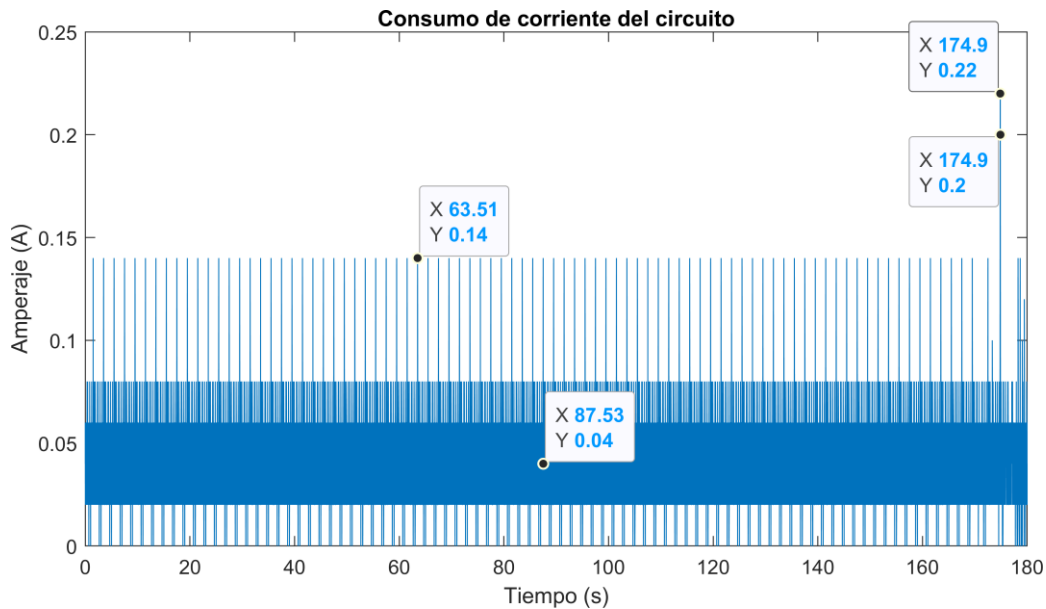


Figura 3.3: Consumo de corriente del circuito tomado desde el osciloscopio.

En esta figura se puede observar que el consumo máximo de la placa alcanza los 220mA. Se da cuando el módulo se encuentra transmitiendo datos hacia el Gateway. Estos datos de consumo se tomaron en un lapso de tiempo de 3 minutos y el Cube Cell realizó un solo envío de datos hacia el Gateway. Se realizó un cálculo promedio del consumo de corriente de ese circuito durante ese lapso de tiempo que resulta ser de 46.3mA con un voltaje de alimentación de 3.7V.

Para el cálculo de tiempo de la duración de la batería se usa la siguiente fórmula

$$C = x \cdot T \quad (3.1)$$

Donde:

C : es la capacidad de la batería (8800mAh).

x : es el consumo de corriente del circuito (46.3mA).

T : es tiempo en horas.

$$8800mAh = 46,3mA \cdot T$$

$$T = \frac{8800mAh}{46,3mA}$$

$$T = 190,06h$$

Reemplazando los valores tenemos que la duración de la batería, teóricamente, es de aproximadamente 190 horas, equivalente a 8 días.

3.4. Interfaz en Chirpstack

En la figura 3.4 se muestra la interfaz web de Chirpstack donde se crearon las credenciales para los diferentes nodos, en el diagrama de la izquierda se puede saber si los nodos están o no conectados al Gateway. Mientras que, el diagrama de la mitad nos indica que el Gateway se encuentra activo y conectado a Internet.

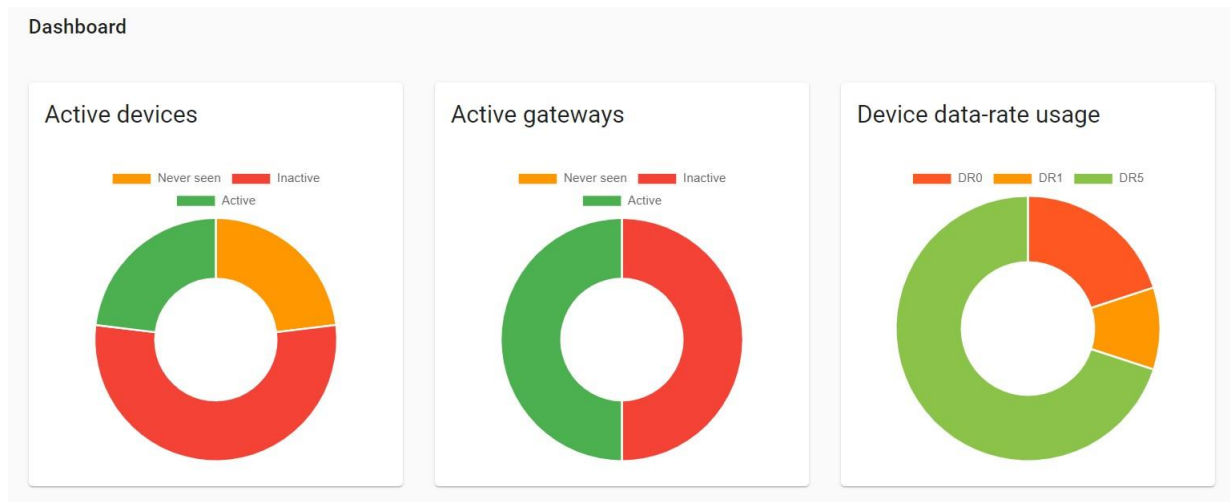


Figura 3.4: Interfaz de Chirpstack (Dashboard).

La figura 3.5 es la ventana de aplicaciones donde se puede observar la Aplicación que se creó para el proyecto junto con los nodos creados y las características de cada uno. El recuadro de color rojo nos muestra hace cuanto tiempo fue la última

conexión de cada nodo. En el recuadro azul nos muestra el nombre de cada nodo y por último en el recuadro amarillo se puede ver las credenciales (DEVEUI) para conexión por OTAA.

	Last seen	Device name	Device EUI	Device profile	Link margin	Battery
<input type="checkbox"/>	a few seconds ago	Nodo1	00000000000000000000000000000000	PruebaP	n/a	n/a
<input type="checkbox"/>	a few seconds ago	Nodo2	00000000000000000000000000000000	PruebaP	n/a	n/a
<input type="checkbox"/>	a few seconds ago	Nodo3	00000000000000000000000000000000	PruebaP	n/a	n/a

Figura 3.5: Interfaz con las características de los nodos.

En la figura 3.6 en la pestaña de “DETALLES” se muestran las características de cada nodo. En la pestaña de “KEYS(OTAA)” se puede ver la clave APPKEY para la conexión OTAA. y por último en la pestaña de “DEVICE DATA”, se podrá observar los datos que envía el nodo y llegan a la página de Chirpstack.

Details	
Name	Nodo1
Description	Nodo1
Device-profile	PruebaP
Multicast groups	

Status	
Last seen at	Sep 26, 2022 12:15 PM
State	enabled

Figura 3.6: Configuración del primer Nodo.

3.5. Colocación de los nodos

El Gateway usado se colocó en una torre ubicada cerca al sector de recolección y separación de las rosas, esto se muestra en la figura 3.7. En este sector se contó con un punto de red para conectar el Gateway al Internet.



(a) Gateway colocado en la torre. Vista 1

(b) Gateway colocado en la torre. Vista 2

Figura 3.7: Instalación del Gateway.

Los nodos se colocaron en el invernadero #11, como lo especificado en la sección anterior, formando una diagonal, esto se puede observar en el mapa del invernadero de la figura 3.8.

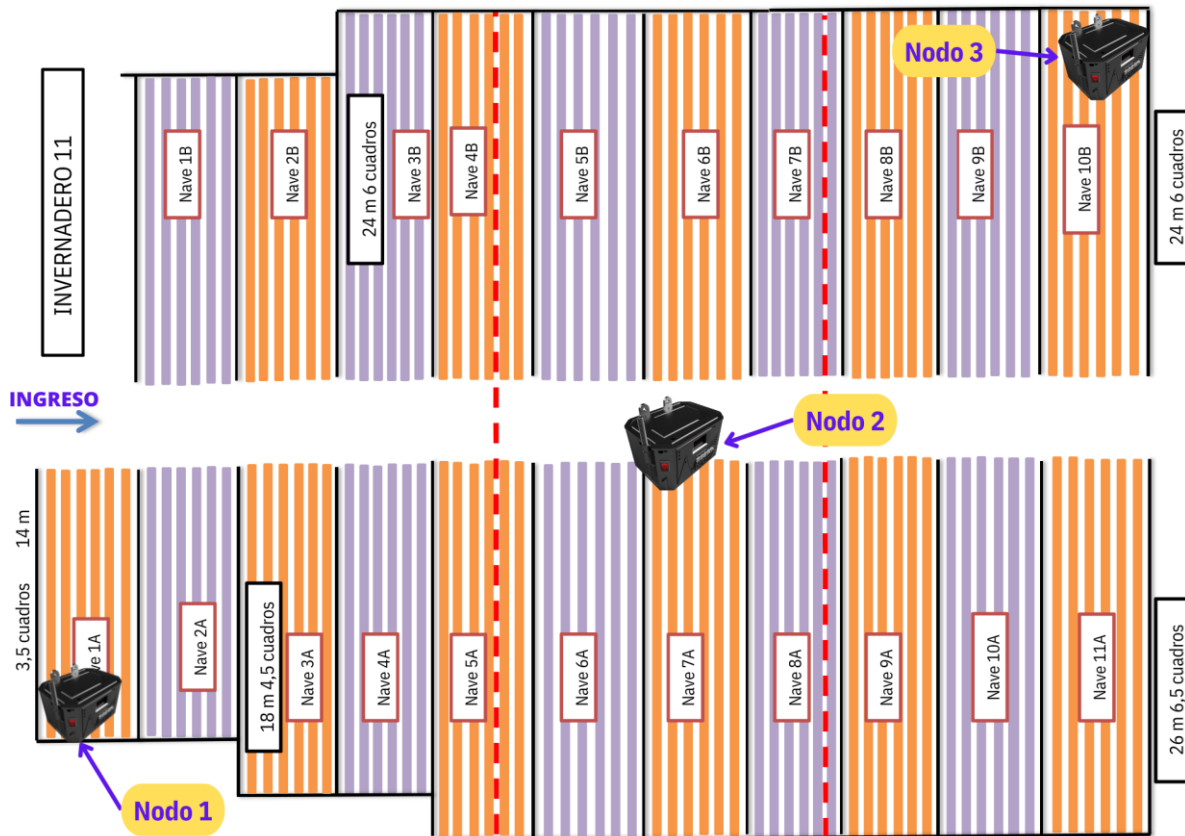


Figura 3.8: Mapa de colocación de nodos en el invernadero.

Los nodos fueron colocados de la siguiente manera

- El primer nodo se colocó al inicio del invernadero en la parte profunda de la cama de rosas como se muestra en la figura 3.9 a).
- El segundo nodo se colocó al inicio de una de las camas intermedias como se muestra en la figura 3.9 b).
- El tercer nodo se colocó en la parte de atrás del invernadero, en la parte final de la última cama como se muestra en la figura 3.9 c). Esta es la parte más alejada del Gateway por lo que se utilizó para comprobar la conexión del nodo hacia el Gateway y comprobar la recepción de datos.

Las distancias entre el Gateway y los nodos son de aproximadamente 160m, 200m y 250m como se muestra en la figura 2.19



(a) Instalación nodo 1

(b) Instalación nodo 2



(c) Instalación nodo 1

Figura 3.9: Instalación de nodos para pruebas en el invernadero.

Para la recolección de los datos los sensores se colocaron en la tierra. Estos deben estar completamente enterrados para que exista un correcto sensado como se muestra en la figura 3.10, indica un ejemplo de como se ubicaron los sensores de dos nodos diferentes para la recolección de datos.



Figura 3.10: Colocación de sensores en la tierra.

3.6. Recepción de datos

En Chirpstack, dentro de cada nodo, en la pestaña “DEVICE DATA” se puede observar los datos que llegan a la pagina desde los nodos como se muestra en la figura 3.11. Estos datos llegan desde cada nodo y se puede observar dependiendo el nodo que esté seleccionado.

Sep 28 11:31:58 PM	up	918 MHz	SF7	BW125	FCnt: 1896	FPort: 2	Unconfirmed
Sep 28 11:31:14 PM	up	917.2 MHz	SF7	BW125	FCnt: 1894	FPort: 2	Unconfirmed
Sep 28 11:30:52 PM	up	918 MHz	SF7	BW125	FCnt: 1893	FPort: 2	Unconfirmed
Sep 28 11:30:30 PM	up	917.6 MHz	SF7	BW125	FCnt: 1892	FPort: 2	Unconfirmed

Figura 3.11: Datos recibidos en Chirpstack.

En la figura 3.12 se puede observar una captura de una archivo .json que es el formato en el que podemos descargar todos los datos que han llegado a la página en un cierto tiempo. En el recuadro rojo se encuentra cierta información del nodo del cual se descargaron los datos y algunas características del mismo.

En el recuadro amarillo se encuentran los datos que se recolectaron en los nodos y llegaron a la página. Estos se pueden observar de esa manera una vez que fueron decodificados y puestos en el formato que deberían tener.

```

{
  "type": "up",
  "payload": {
    "applicationID": "12",
    "applicationName": "Prueba",
    "deviceName": "Nodo3",
    "devEUI": "KGSyOdDTBco=",
    "rxInfo": [
      {
        "gatewayID": "JOEk//7zYMM=",
        "time": "2022-10-01T18:17:24.807210Z",
        "timeSinceGPSEpoch": "1348683462.807s",
        "rssi": -92,
        "loRaSNR": 13.8,
        "channel": 0,
        "rfChain": 0,
        "board": 0,
        "antenna": 0,
        "location": {
          "latitude": -2.88666,
          "longitude": -78.99069,
          "altitude": 2552,
          "source": "UNKNOWN",
          "accuracy": 0
        },
        "fineTimestampType": "NONE",
        "context": "kjjIoQ==",
        "uplinkID": "ZSXD/hMeRUi00v4LA3f/dg==",
        "crcStatus": "CRC_OK"
      }
    ],
    "txInfo": {
      "frequency": 916800000,
      "modulation": "LORA",
      "loRaModulationInfo": {
        "bandwidth": 125,
        "spreadingFactor": 7,
        "codeRate": "4/5",
        "polarizationInversion": false
      }
    },
    "adr": true,
    "dr": 5,
    "fCnt": 13,
    "fPort": 2,
    "data": "OxoiWGD4/////vLT",
    "objectJSON": "{\"Conductividad \":571,\"Fosforo \":85,
    \"Humedad \":89.15,\"Nitrogeno \":23,
    \"Potasio \":65535,\"pH \":6.1}",
    "confirmedUplink": false,
    "devAddr": "AGau2w==",
    "publishedAt": "2022-10-01T18:17:26.067742994Z",
    "deviceProfileID": "921674ea-1a55-4b8f-ac93-9382185e6c4c",
    "deviceProfileName": "PruebaP"
  }
},

```

Figura 3.12: Datos descargados en archivo .json.

En la tabla 3.2 se encuentra el tiempo en el aire de la señal, esto muestra el tiempo que se demoran los datos de cada nodo desde que se envía hasta que llega a la página de Chirpstack. En esta tabla se comparan estos tiempos con el valor de RSSI (Received Signal Strength Indicator), para conocer la relación de estos dos parámetros. Cada valor de tiempo en el aire de la señal se tomó desde diferentes distancias, tomando la última desde el lugar más alejado de la florícola donde se colocaron los nodos. Además cabe recalcar que estos valores pueden tener cierto grado de error ya que en el lugar de las pruebas no se contaba con una buena conexión a Internet.

Tabla 3.2: Tiempo en el aire de la señal

Tiempo en el aire	RSSI (dBm)
7 s	-83
6 s	-81
5 s	-80
3 s	-90
5 s	-95
3 s	-87
5 s	-91
3 s	-91
4 s	-91
3 s	-89

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó el diseño del sistema que mide los parámetros nutricionales del suelo, haciendo uso de un sensor que mide Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Conductividad eléctrica y pH del suelo, un sensor de humedad y un microcontrolador que tenía implementado comunicación por medio del protocolo LoRaWAN y un Gateway LoRa para subir datos a Internet.
- En los cultivos de rosas los parámetros de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, pH, y conductividad influyen en el crecimiento de los cultivos, y también se necesitan el uno del otro. La carencia o exceso de estos parámetros tienen consecuencias notorias ya sea en el botón de la flor o en las hojas de la planta.
- Dentro de todas las redes inalámbricas estudiadas se usó la red LoRa por sus características de conectividad, alcance y fácil uso para este proyecto, además que cuenta con tecnología de bajo consumo, lo que la hizo más efectiva para hacer un prototipo portátil.
- Los nodos creados se comunicaron correctamente hacia el Gateway, tanto en la pruebas realizadas en la Universidad, como en la florícola. Los datos recolectados

por cada nodo se pudieron observar en la pagina de Chirpstack, en la que se puede observar el número de nodo correspondiente al número de cada caja.

- Los tiempos de envío de datos se pueden modificar de acuerdo a las especificaciones que requiera el usuario, para así tener una mayor o menor cantidad de datos recolectados en un determinado tiempo y así poder trabajar con ellos.
- Entre cada recolección de datos y envío hacia la página de Chirpstack cada nodo se pone en modo bajo consumo, pasando cierto tiempo para realizar un nuevo envío de datos. Se realizaron pruebas de estos tiempos de envío, en los que, mientras mayor tiempo en modo bajo consumo el dispositivo se desconectaba de la red.
- Mientras más interferencia en el entorno, mayor es el tiempo en el que llegaban los datos a la pagina de Chirpstack. Esto puede observarse en la [tabla 3.2](#), donde que los primeros datos son cuando el nodo no tenía línea de vista directa con el Gateway.

Recomendaciones

1. El sensor NPK, recibe un frame de interrogación para enviar un frame de respuesta. Cada sensor NPK, dependiendo del modelo y fabricante posiblemente tendrá diferentes direcciones de almacenamiento de datos, por lo tanto variarán las direcciones que se envíen en el frame de interrogación, identificar este mismo en un programa propio para estos dispositivos.
2. Tener en cuenta que para cargar las baterías con las que funciona cada nodo se deberá primero apagar el circuito con el interruptor.
3. Para el diseño de la caja donde estará toda la circuitería, tener en cuenta las medidas de la placa y los componentes que van a ir dentro, así también, considerar espacio para tener fácil acceso a los conectores de los sensores por si se desea cambiar uno de ellos.
4. Considerar como mejora de la caja para aplicaciones IoT, facilidad de acceso a la batería para desmontarla y colocarla cuando necesite ser recargada.

Bibliografía

- [1] L. V. Gálvez, J. Q. Salgado, and V. M. Méndez, *Industria 4.0 - Gestión del conocimiento*, 2021. [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/213844?page=1>
- [2] J. O. G. Cárdenas, P. E. Figueroa, I. Amezcua, and J. R. Benavides, "DISEÑO ARQUITECTURAL DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA MONITORIZACIÓN AMBIENTAL APLICADA EN VIVEROS DE PLANTAS DE ORNATO," *3c Tic*, vol. 11, no. 1, pp. 223–248, 2022.
- [3] A. Sanchez, T. Vayas, F. Mayorga, and C. Freire, "Sector agrícola ecuador," Observatorio Económico Tungurahua, Tech. Rep., 2019.
- [4] E. CIM, "Informe Anual de Exportaciones," IT, Tech. Rep., 2019.
- [5] G. Carrion, M. Huerta, A. García, J. Guillermo, B. Barzallo, C. Punín, R. Clotet, G. Sagbay, and J. Castillo, "Soil conditions monitoring and on rail irrigation for an urban crop in Cuenca," *2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX)*, 2019.
- [6] F. SichiQui, J. Huilca, A. García, J. Guillermo, D. Rivas, R. Clotet, and M. Huerta, "Agricultural Information Management: A Case Study in Corn Crops in Ecuador," in *Advances in Emerging Trends and Technologies*, M. Botto-Tobar, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- [7] A. García, A. Guillermo, B. Barzallo, C. Punín, A. Soto, D. Rivas, R. Clotet, and M. Huerta, "Plátano: Intelligent Technologicas Suport Plataform for Azuay province Farmers in Ecuador," *2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX)*, 1995. [Online]. Available: doi:10.1109/ICEV.2019.8920501.

- [8] M. Erazo, M. Sandoval, S. Muñoz, M. Huerta, D. Rivas, C. Naranjo, and J. L. Rojo, "Multiparametric Monitoring in Equation Tomato Greenhouses (I): Wireless Sensor Network Benchmarking," 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s18082555>
- [9] J. C. Guillermo, A. García, D. Rivas, M. Huerta, and R. Clotet, "IoT Architecture Based on Wireless Sensor Network Applied to Agricultural monitoring: a case of astudy of cacao crops in ecuador," C. J, A. P, and I. J, Eds. Springer, 2018, vol. 893. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04447-3_3
- [10] L. Fernandez, "Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de variables climáticas en una invernadero de orquídeas," Ph.D. dissertation, Ingeniería Electrónica, UPS, 2017, Cuenca, Ec.
- [11] L. Espin, "Sistema inteligente de aprendizaje automático mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para el monitoréo de OIDIUM (sphaerotheca pannosa) en el cultivo de rosas de exportación," Ph.D. dissertation, Ingeniería en Sistemas e Informatica, ESPE, 2021, Quito, Ec.
- [12] E. Corrales and E. Suares, "Diseñar e implementar un sistema registrador de crecimiento mediante el uso de técnicas de visión artificial para la clasificación del cultivo de rosas freedom en el invernadero de la florícola high conection flowers de la parroquia Mulaló - Provincia del Cotopaxi," Ph.D. dissertation, Ingeniería Electrónica, ESPE, 2017, latacunga, Ec.
- [13] Ecoroses|Ecuador Ecoroses. (2021) Tecnología en la producción de rosas. [Online]. Available: <https://ecoroses.com.ec/es/alta-tecnolog-a-que-garantiza-la-calidad-de-nuestras-rosas#:~:text=Para%20eliminar%20cualquier%20tipo%20de,matar%20cualquier%20tipo%20de%20hongo>
- [14] BBC News Mundo. 2022. (2022) Las impresionantes cifras del mercado de flores más grande del mundo - BBC News Mundo. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36905800>
- [15] Ecuador.com. (2022) Las flores abundan en el Ecuador - Ecuador.com. [Online]. Available: <https://www.ecuador.com/blog/las-flores-abundan-en-el-ecuador/>
- [16] Ecoroses | Ecuador Ecoroses. (2022) ROJO Archiver - Ecoroses | Ecuador Roses. [Online]. Available: https://ecoroses.com.ec/es/rose_varieties/red-es

- [17] B. Horstman. (2022) Kletterrose 'Skyline' - Rosa 'Skyline'. [Online]. Available: https://www.baumschule-horstmann.de/kletterrose-skyline-79_114465.html
- [18] ORIGINAL M. (2022) 2022. Rojo - Rosas híbridas de té - rosa de fragancia discreta - Rosal Royal Velvet - Comprar rosas online - - Nuestros productos Rosas híbridas de té - Pharmarosa. [Online]. Available: <https://pharmarosa.es/rozsa/6804>
- [19] O. M. (2022) 2022. Rojo - Rosas híbridas de té - rosa de fragancia discreta - Rosal Royal Velvet - Comprar rosas online - - Nuestros productos Rosas híbridas de té - Pharmarosa. [Online]. Available: <https://pharmarosa.es/rozsa/6804#:~:text=%3A%20Facebook%20Twitter-,Rojo%20%2D%20Rosas%20h%C3%ADbridas%20de%20t%C3%A9%20%2D%20rosa%20de%20fragancia%20discreta%20%2D,corte%20puestas%20en%20una%20jarra>
- [20] A. Sunset. Rosa roja Freedom. La Variedad de rosa más vendida del mundo. [Online]. Available: <https://www.variedadesderosas.com/blog/rosa-roja-freedom/>
- [21] A. Rivera, "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES BIOESTIMULANTES EN EL CULTIVO DE ROSA (rosa sp.) DE LA VARIEDAD FREEDOM CAYAMBE, PICHINCA," Ph.D. dissertation, Ciencias Agrícolas, UCE, 2017, quito, Ec.
- [22] E. Rivera, M. Sacnhez, and H. Dominguez, "pH como factor de crecimiento en plantas, REV-RIC," *Ciencias Agrícolas, UCE*, vol. 4, pp. 101–105, Junio 2018.
- [23] "Definition of ph - nci dictionary of cancer terms - nci," <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/ph>, (Accessed on 09/21/2022).
- [24] L. Lanchimba, "Respuesta de seis variedades de rosa (rosa sp.) a tres relaciones nutricionales de Ca, Mg y K. Cayambe Pichincha," Ph.D. dissertation, Ciencias Agrícolas, UCE, 2017, quito, Ec.
- [25] E. Castillo and B. Siguenza, "Comportamiento de la rosa freedom," pp. 1–10, Agosto 2021.
- [26] R. de Mello Prado, "Mineral nutrition of tropical plants." Springer, 2021, vol. 1 ed. Sao Paulo.
- [27] I. Mexico. (2022) Nutrientes presentes en el suelo. [Online]. Available: <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>

- [28] Infoagro.com. (2022) Agricultura. el cultivo de las rosas para corte 1ra parte. Accessed: 14 Enero 2022. [Online]. Available: <https://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>
- [29] L. Barbaro, M. A. Karlanian, and D. A. Mata, "Importancia de del pH y la Conductividad (CE) en los sustratos y plantas." [Online]. Available: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- [30] E. Espinoza, "EVALUACIÓN DE CUATRO LABORES AGRONÓMICAS, PARA LA INDUCCIÓN TEMPRANA DE BROTAÇÃO DE YEMAS DE PRODUCCIÓN, EN DOS VARIEDADES DE ROSA (Rosa spp).PEDRO MONCAYO - ECUADOR 2012," 2015, Quito, Ec.
- [31] E. Espinosa, "EVALUACIÓN DE CUATRO LABORES AGRONÓMICAS, PARA LA INDUCCIÓN TEMPRANA DE BROTAÇÃO DE YEMAS DE PRODUCCIÓN, EN DOS VARIEDADES DE ROSA (Rosa spp).PEDRO MONCAYO – ECUADOR 2012," Ph.D. dissertation, Ingeniería Agropecuaria Universdad Politécnica Salesiana- Sede- Quito., 2012, ecuador.
- [32] P. Llana. (2018) Seguridad y responsabilidad en la internet de las cosas (IoT). [Online]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/58379?page=1>
- [33] O. K. Stempel, "Evaluación de protocolos limitados de nivel de aplicación para Internet de las Cosas," Ph.D. dissertation, Universdad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Telemática., 2018, madrid.
- [34] I. Bonilla, A. Tavizon-Salazar, M. Morales-Escobar, L. Guajardo, and C. Laines, "IOT, EL INTERNET DE LAS COSAS Y LA INNOVACIÓN DE SUS APLICACIONES," vol. 1, pp. 2313–2340, 2016.
- [35] M. M. Manuel Pérez and M. Suarez, "Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura
," *ESPACIOS*, vol. 40, no. 18, pp. 1–6, 2019.
- [36] A. de la Rosa. (2021) LPWAN como base de comunicaciones para IoT. [Online]. Available: <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>
- [37] Z. Wendt. (2020) IoT en la agricultura: soluciones inteligentes para la agricultura basadas en IoT. [Online]. Available: <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>

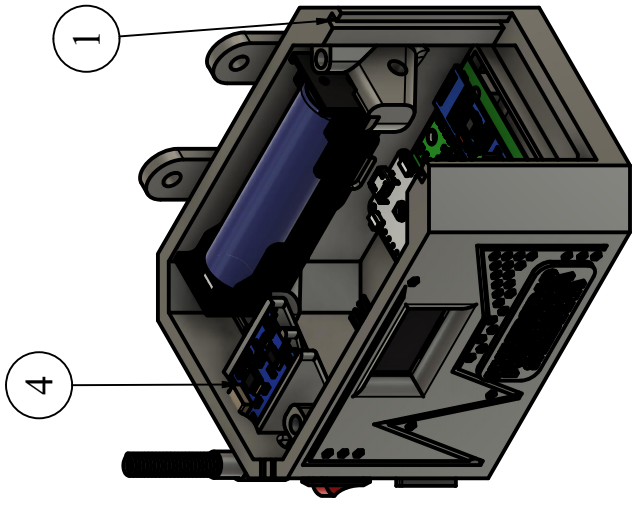
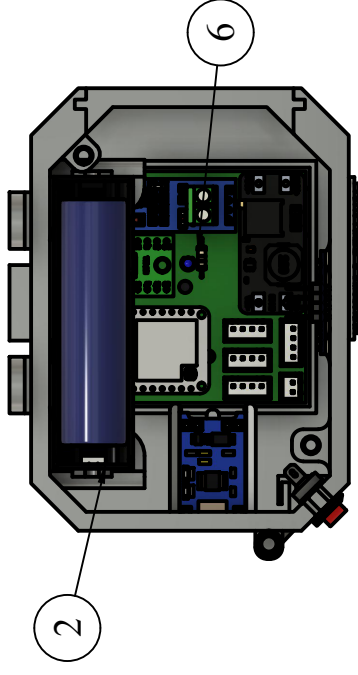
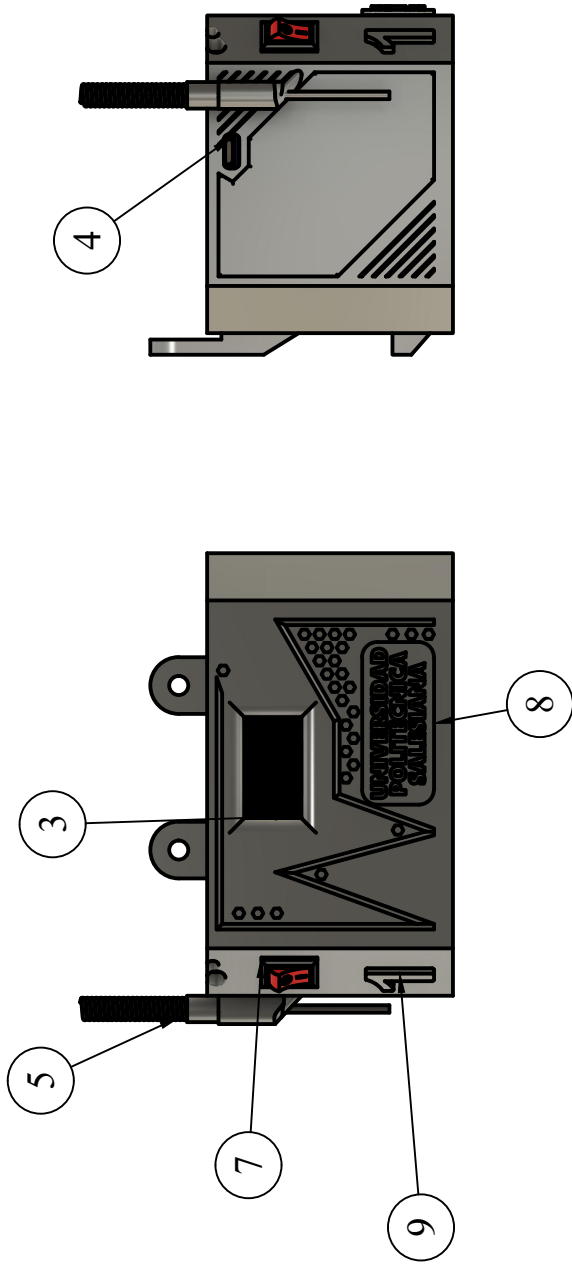
- [38] M. Ortiz, “DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UN SISTEMA,” 2020, Ecuador-Quito.
- [39] AWS, “¿qué es aws?” <https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/>, (Accessed on 10/04/2022).
- [40] “Introducción: documentación del servidor de red lorawan® de código abierto de chirpstack,” <https://www.chirpstack.io/docs/>, (Accessed on 09/23/2022).
- [41] H. Automation. (2019) Cubecell series. [Online]. Available: https://heltec.org/cubecell_overview/
- [42] A. Corvis. (2020) Review: Heltec cubecell dev-board htcc-ab01 + proyecto de estación meteorológica. [Online]. Available: <https://alexcorvis.cc/heltec-cubecell/>
- [43] *Type 485 Soil Comprehensive Sensor User's Guide*, 1st ed.
- [44] L. Llamas, *HIGRÓMETRO FC-28*, 1st ed., 13 Marzo, 2019. [Online]. Available: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2018/03/MedidorHumedadSuelo.pdf>
- [45] WINSTAR, *Soil Moisture Sensor Soil Hygrometer Detection Module*, 1st ed., 17 Sep. 2013. [Online]. Available: <https://electron-space.blogspot.com/2013/09/soil-moisture-sensor-soil-hygrometer.html>
- [46] *Low-power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73463/MAXIM/MAX485.html>
- [47] N. Mechatronics. (2021) Módulo max485 conversor rs485 a serial ttl. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html>
- [48] “Convertidor de voltaje mt3608 | robots didácticos,” <https://robots-argentina.com.ar/didactica/convertidor-de-voltaje-mt3608/>, (Accessed on 09/13/2022).
- [49] AEROSEMI, *MT3608 - High Efficiency 1.2MHz, 2A Step Up Converter*, 1st ed. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131968/ETC1/MT3608.html>

- [50] T. INSTRUMENTS, *TXS0108E 8-BITT Bi-directional., Level-Shifting, Voltage Translator for Open-Drain and Push-Pull Applications*, 1st ed. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txs0108e.pdf?ts=1652634633749>
- [51] SN, *Pantalla OLED SSD1306-SH1106 I2C-SPI 7 Pines*, 1st ed.
- [52] WINSTAR, *OLED SPECIFICATION*, 1st ed.
- [53] A. of se website, "Tp4056 3.7v li-ion 18650 battery charger module pinout,datasheet & details - components info," <https://www.componentsinfo.com/tp4056-module-pinout-datasheet-details/>, 04 2020, (Accessed on 09/22/2022).
- [54] N. T. P. A. Corp., *1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8*, 1st ed. [Online]. Available: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
- [55] "Gateway lorawan: el elemento clave de la red - m2m logitek," <https://www.m2mlogitek.com/gateway-lorawan-el-elemento-clave-de-la-red/>, (Accessed on 09/19/2022).
- [56] Milesight, "Outdoor lorawan gateway | ug67 lorawan gateway | milesight iot," <https://www.milesight-iot.com/lorawan/gateway/ug67/>, (Accessed on 09/26/2022).

APÉNDICES

APÉNDICE A: DIMENSIONES DE LA CAJA

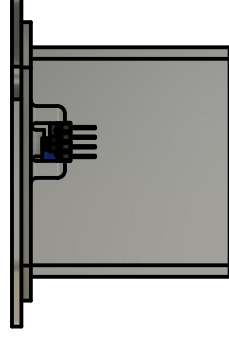
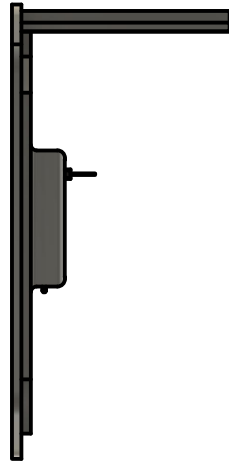
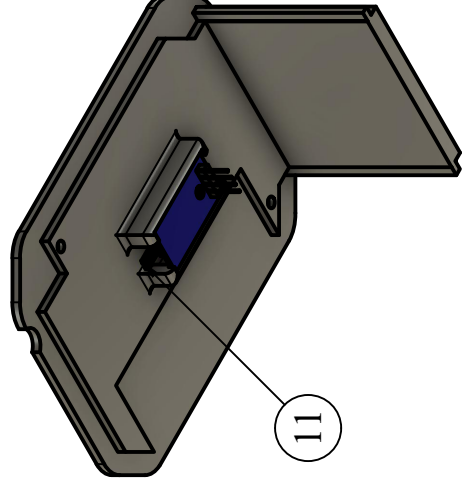
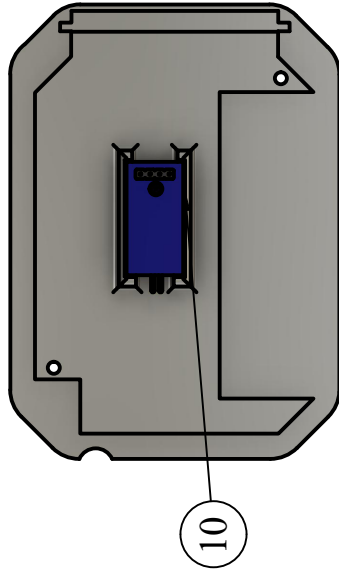
Lista de piezas		
elemento	ctd	número de pieza
1	1	CAJA
2	1	BATERÍA
3	1	OLED 0.96
4	1	TP4056
5	1	ANTENA HELICOIDAL
6	1	PLACA
7	1	SWITCH_10x15mm
8	1	LOGOTIPO
9	1	NÚMERO DE NODO



Dept.	Technical reference	Created by Andrés Chacha, Cristina Calle	Approved by
		9/13/2022	Document status
		Document type	DWG No.
		Title Planos	Rev.
			Date of issue
			Sheet 1/6

Lista de piezas

elemento	ctd	número de pieza
10	1	Tapa superior para ensamble
11	1	HD_38



Dept.

Technical reference

Approved by

Document status

Created by
Andrés Chacha, Cristina Calle 9/13/2022

Document type

DWG No.

Title

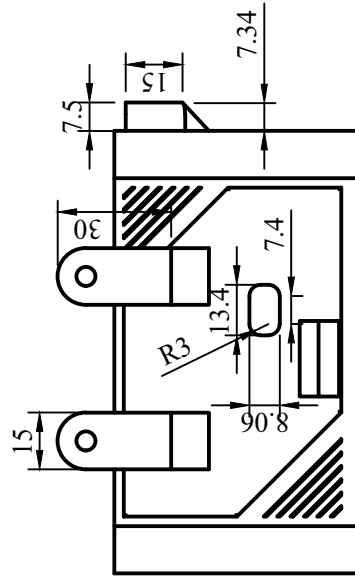
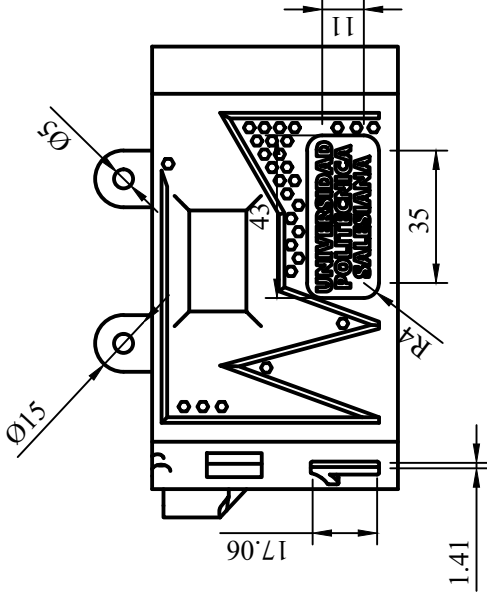
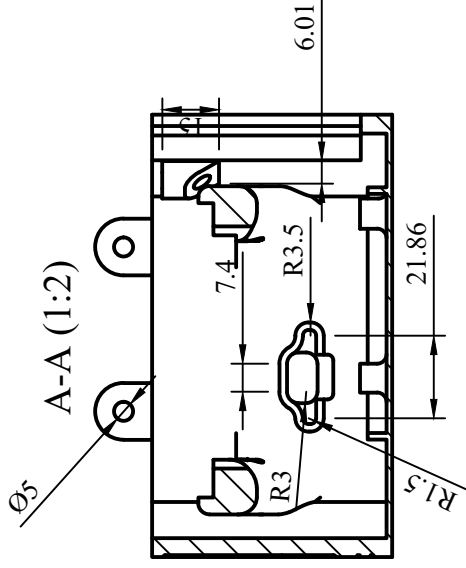
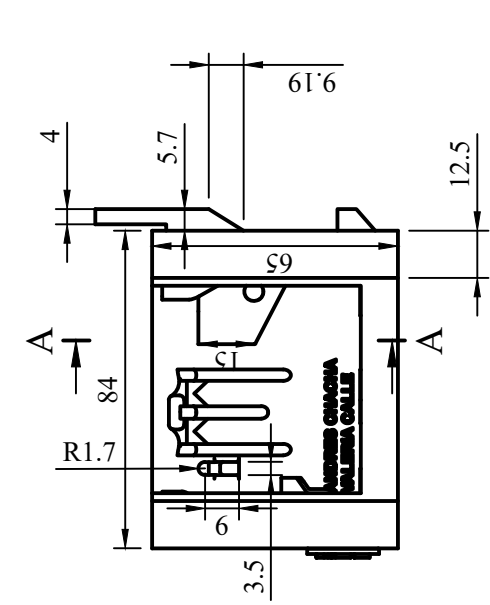
Planos

Rev.

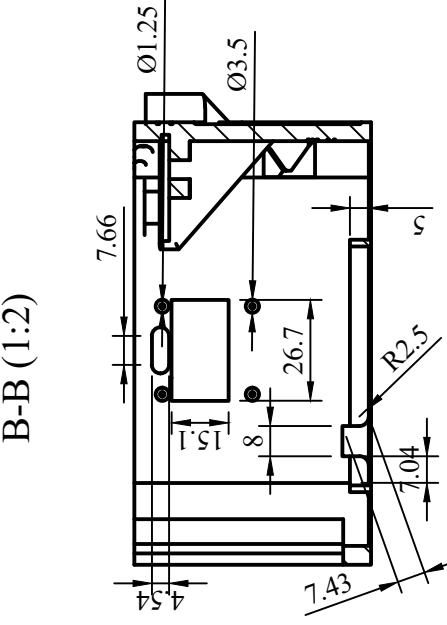
Date of issue

Sheet

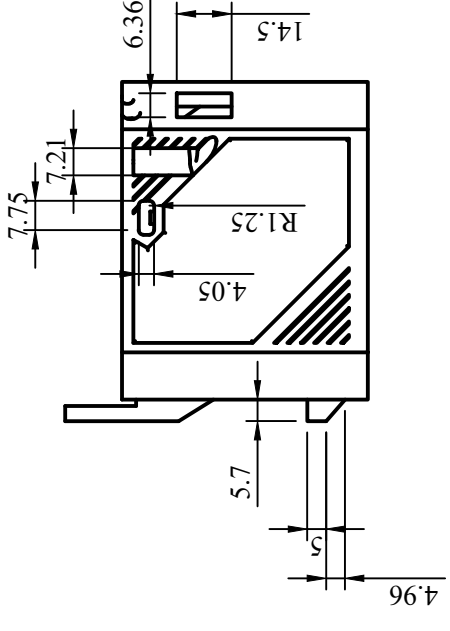
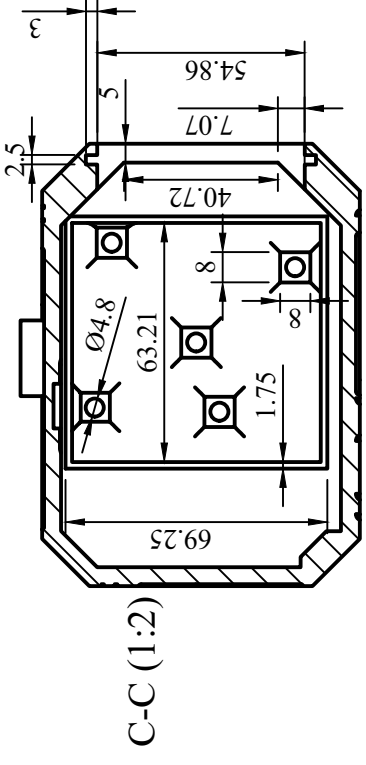
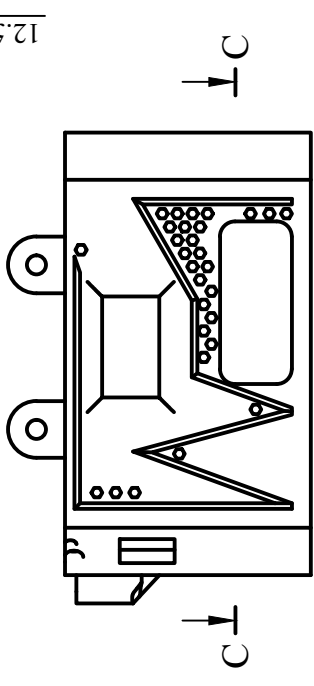
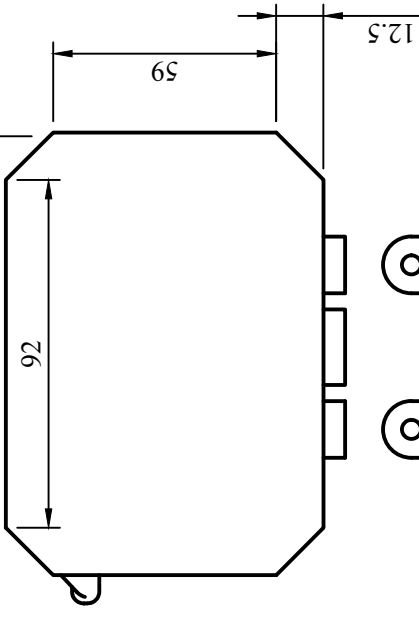
6/6



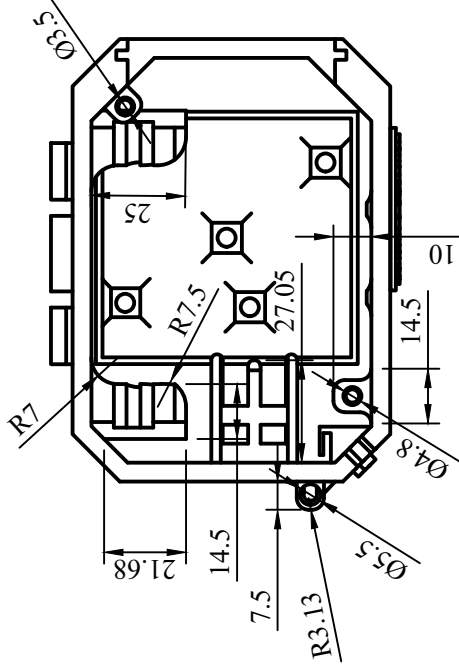
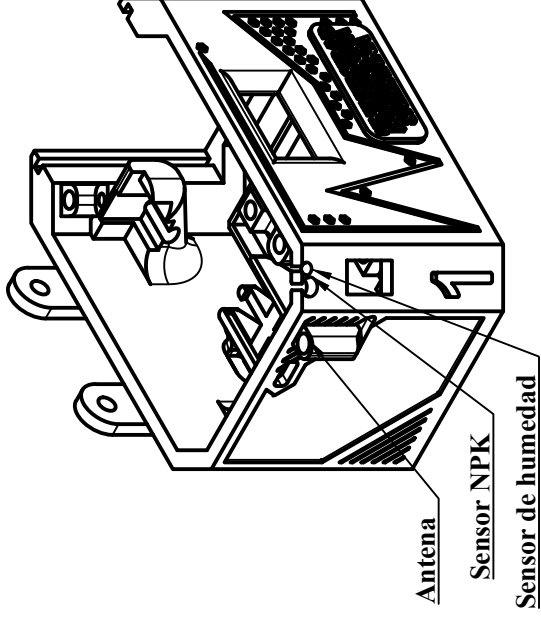
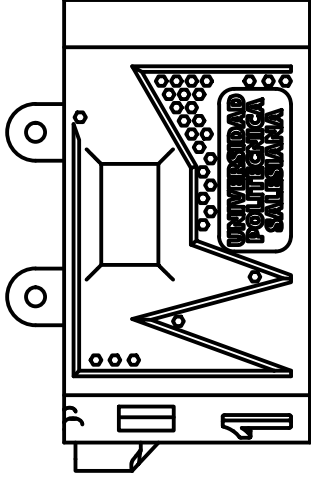
B-B (1:2)



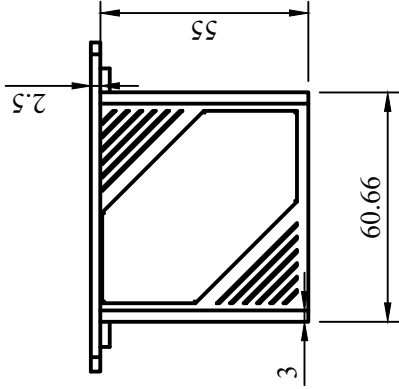
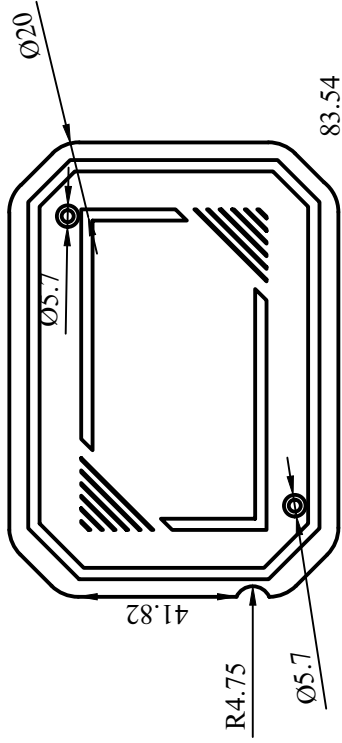
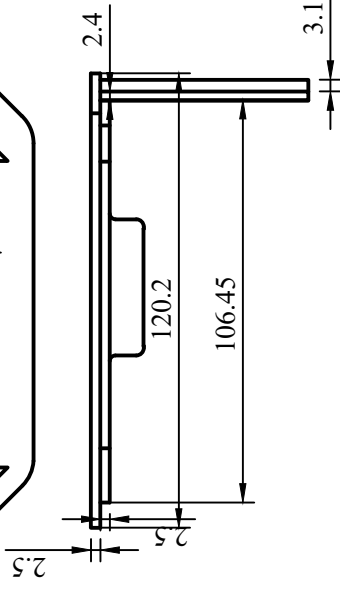
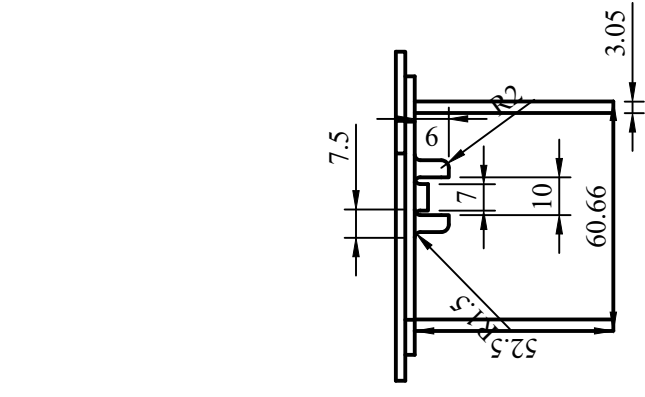
Dept.	Technical reference	Created by Andrés Chacha, Cristina Calle	Approved by
		Document type Andrés Chacha, Cristina Calle	Document status
		Title Planos	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 2/6



Dept.	Technical reference	Created by Andrés Chacha, Cristina Calle	Approved by
		9/13/2022	Document status
		Document type	DWG No.
		Title Planos	Rev.
			Date of issue
			Sheet 3/6



Dept.	Technical reference	Approved by	Document status
		Andrés Chacha, Cristina Calle 9/13/2022	Document status
		Document type	DWG No.
		Title	
		Planos	
		Rev.	Date of issue
			4/6



Dept.	Technical reference	Created by Andrés Chacha, Cristina Calle 9/13/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Planos	DWG No.
		Rev.	Date of issue
			Sheet 5/6

APÉNDICE B: DIAGRAMAS DE FLUJO

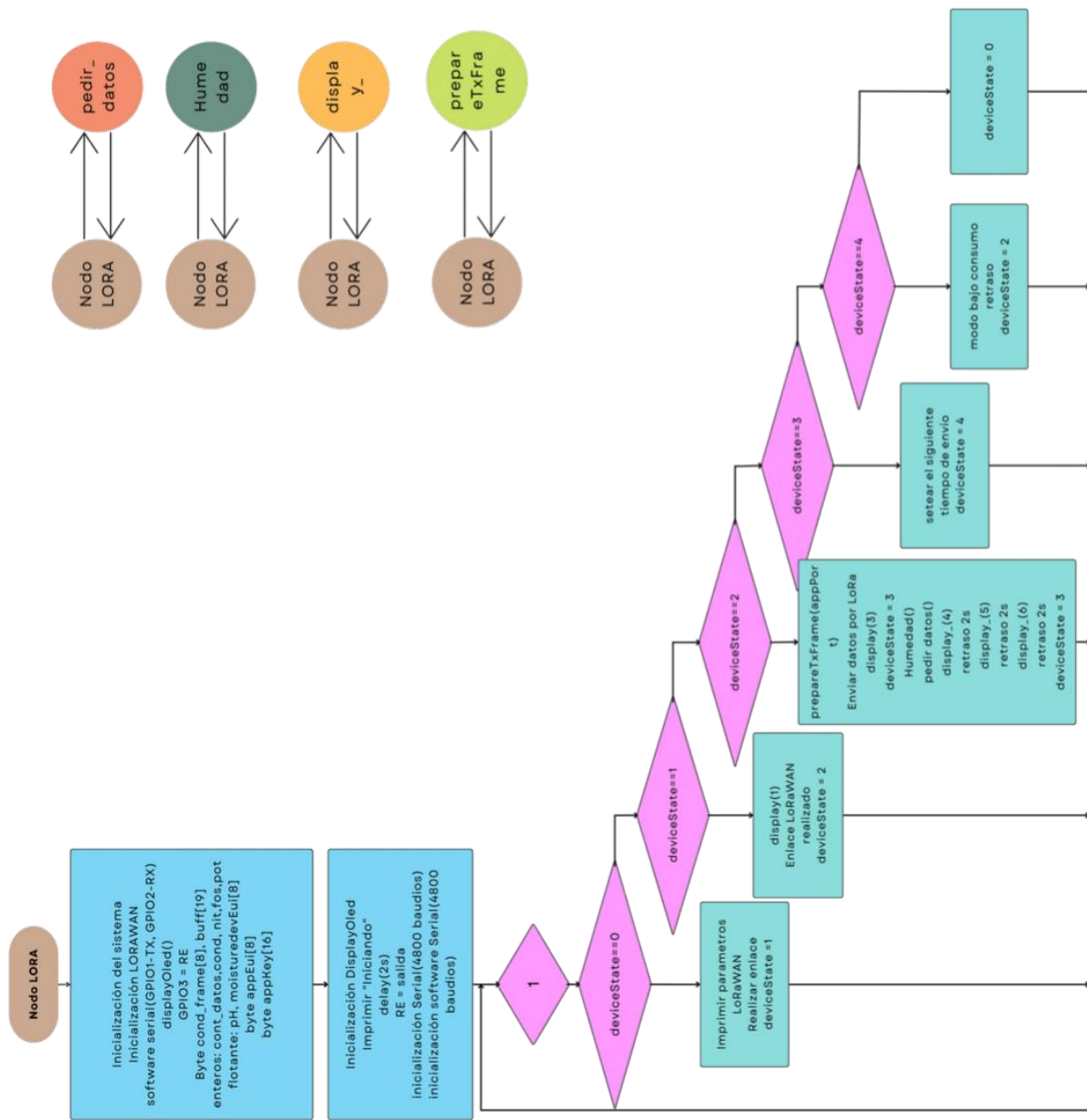


Figura 4.1: Diagrama de flujo función principal “Nodo LORA”.

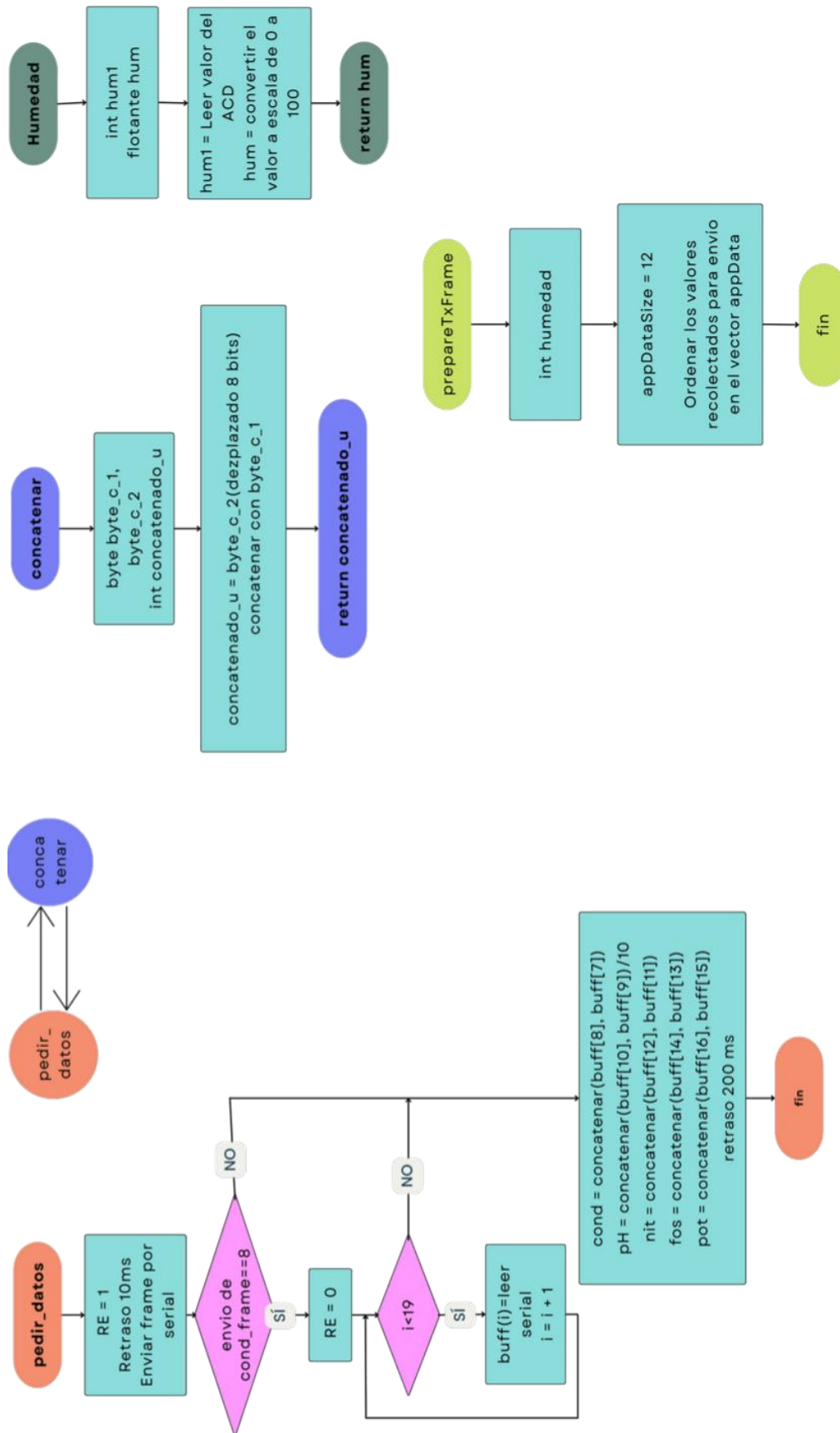


Figura 4.2: Diagrama de flujo de funciones: “pedir_dato”, “concatena”, “Humedad” y “prepareTxFrame”.

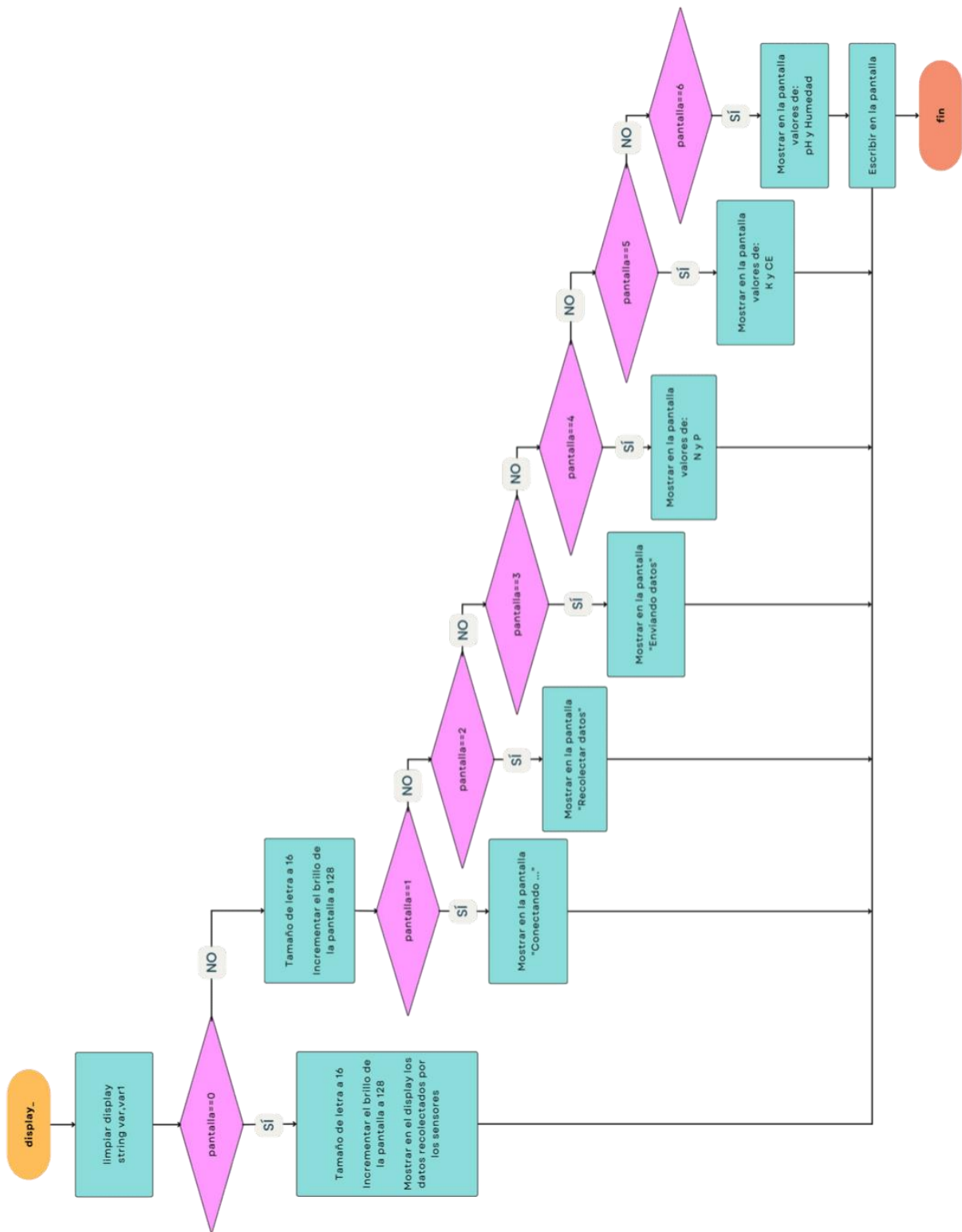


Figura 4.3: Diagrama de flujo de la función "display_".