Automatización y Monitoreo de un Sistema de Riego a través de una Red de Sensores Inalámbricos

Álvaro José Ruiz Atala

Marcelo José Bonivento Duchemin

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

Santa Marta, Colombia

2022

Automatización y Monitoreo de un Sistema de Riego a través de una Red de Sensores Inalámbricos

Álvaro José Ruiz Atala

Marcelo José Bonivento Duchemin

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director (a):

Jordan Dallan Guillot Fula

Línea de Investigación:

Diseño de sistemas electrónicos

Grupo de Investigación:

Magma Ingeniería

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

Santa Marta, Colombia

2022

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Acuerdo Superior N° 11 de 2017 y Acuerdo Académico N° 41 de 2017 para optar al título de (escriba el nombre del Programa**)**

_____

Jurado

_____

Jurado

Santa Marta, ____ de ____de _____

(Dedicatoria o lema)

De Álvaro:
A mis padres.

De Marcelo:
A Claudia, Olga y María. A José Ulpiano y Libardo y al resto de mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la vicerrectoría de investigación de la universidad del Magdalena por el apoyo en el financiamiento del presente proyecto bajo la convocatoria para apoyar trabajos de grados en programas de pregrado – 2018.

Al ingeniero Pedro Mercado, encargado de la graja experimental, y a todos sus colaboradores, por la atención y acompañamiento en campo y por facilitar el acceso a la infraestructura.

Resumen

En la actualidad, la tecnología se encuentra en todos los campos de la vida cotidiana, logrando ser indispensable para el ser humano y una de las principales herramientas de trabajo y progreso. No obstante, en el sector agrícola también ha desarrollado un papel importante, dando lugar a grandes avances y la innovación de procesos tecnificados que facilitan la eficiencia y eficacia de las actividades del campo. En el presente trabajo se expone la realización de una red de sensores inalámbricos mediante ESP32, cuya finalidad es la automatización de un sistema de riego en la granja experimental de la Universidad del Magdalena. Dicha red, cuenta con dos nodos sensores de los cuales se estará adquiriendo y monitoreando las variables como la humedad del suelo mediante el sensor SEN0193; la temperatura y la humedad relativa con la ayuda de un DHT11; estos datos serán enviados mediante módulos de radiofrecuencia LoRa a otro punto de la red el cual cumplirá el papel de nodo actuador para determinar en qué momento llevar a cabo la acción de riego en el área seleccionada según los parámetros deseados, y de forma paralela a un nodo Gateway quien se encargara de subir dicha información a un servicio de base de datos en la nube. Con el presente trabajo se logró conectar entornos aislados de una red de internet entre los diferentes nodos sensores, nodos maestros y con los diferentes actuadores responsables del riego. El monitoreo de las variables es posible gracias a una interfaz gráfica que provee Ubidots, un servicio de visualización y almacenamiento de datos en la nube.

Tabla de contenido

1 Introducción ... 13

2 Objetivos ... 15

2.1 Objetivo General ... 15

2.2 Objetivos Específicos ... 15

3 Materiales y Métodos ... 16

3.1 Metodología ... 17

3.2 Sistema de monitoreo ... 18

3.2.1 Tareas ... 21

3.2.1.1 Respaldo de memoria microSD ... 21

3.2.1.2 Envío de datos ... 22

3.2.2 Sensores ... 25

3.2.2.1 Sensor humedad del suelo SEN0193 ... 25

3.2.2.2 Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 ... 26

3.2.3 Fuente energética ... 27

3.3 Gateway ... 29

3.3.1 Recepción de los datos ... 31

3.3.2 Tareas ... 32

3.3.2.1 Envío de datos por WiFi ... 32

3.3.2.2 Reconexión WiFi ... 32

3.3.3 Protocolo MQTT ... 33

3.3.3.1 Funcionamiento ... 34

3.4 Base de datos Ubidots ... 36

3.4.1 Funcionamiento ... 36

3.4.2 Envío de datos por MQTT ... 37

3.5 Nodo actuador ... 39

3.5.1 Tareas ... 41

3.5.1.1 Recepción de datos por radiofrecuencia 41
3.5.1.2 Encendido de los actuadores 41
3.5.2 Actuadores 42
3.5.2.1 Motobomba 42
3.5.2.1 Electroválvula 43
4 Resultados 44
4.1 Estado actual del sistema de riego 44
4.1.1 Campus universitario 45
4.1.2 Granja experimental 46
4.2 Elección del terreno para implementar el sistema de riego 47
4.3 Sistema de monitoreo 48
4.3.1 Implementación del sistema de monitoreo 48
4.4 Gateway 50
4.4.1 Implementación del Gateway 50
4.5 Actuador 51
4.5.1 Diseño del actuador 51
4.5.2 Implementación del actuador 52
4.6 Base de datos Ubidots 54
4.7 Discusión de resultados 56
5 Conclusiones 63
6 Bibliografía 64

Lista de figuras

Figura 1. Esquema general de la red de sensores..... 16
Figura 2. Diagrama de los nodos sensores. 18
Figura 3. ESP32..... 19
Figura 4. Diagrama de bloques ESP32 19
Figura 5. Esquemáticos de los nodos sensores. 20
Figura 6. Módulo para memoria microSD. 22
Figura 7. Módulo Wireless LoRa-02 433MHz..... 22
Figura 8. Ejemplo de secuencia de escritura y lectura en una cola..... 24
Figura 9. Sensor humedad del suelo SEN0193..... 25
Figura 10. Sensor temperatura y humedad relativa DHT11. 26
Figura 11. Trama de datos Sensor temperatura y humedad relativa DHT11..... 27
Figura 12. Panel solar 20w. 28
Figura 13. Módulo cargador de baterías de litio WH-2S80A..... 29
Figura 14. Esquema general Gateway..... 30
Figura 15. Esquemático Gateway 30
Figura 16. Funcionamiento de un semáforo. 33
Figura 17. Modelo de un protocolo MQTT..... 34
Figura 18. Conexión entre el cliente y el broker..... 35
Figura 19. Suscripción a un topic por parte del cliente. 35
Figura 20. Publicación de mensajes..... 36
Figura 21. Arquitectura de datos Ubidots..... 37
Figura 22. Acceso a tokens en Ubidots. 38
Figura 23. Esquemático nodo actuador. 40
Figura 24. Esquemático tablero eléctrico. 41
Figura 25. Relé de estado sólido de dos canales. 42
Figura 26. Motobomba del sistema de riego 42
Figura 27. Electrovalvulas 24V AC. 43
Figura 28. Vista aérea de la Universidad del Magdalena. 44
Figura 29. Vista aérea del campus universitario..... 45
Figura 30. Bomba encargada del riego en el campus universitario 46
Figura 31. Controlador GSI24AC..... 46
Figura 32. Vista aérea con etiquetas de la red de sensores. 47

Figura 33. Implementación de los nodos sensores. 49
Figura 34. Nodos sensores sobre estructuras metálicas. 50
Figura 35. Implementación del Gateway 51
Figura 36. Etapa de baja potencia nodo actuador 53
Figura 37. Etapa de alta potencia nodo actuador. 53
Figura 38. Lista de devices en Ubidots. 54
Figura 39. Variables del device en Ubidots. 55
Figura 40. Plugins visuales en Ubidots. 55
Figura 41. Tabla de los datos recibidos en Ubidots. 56
Figura 42. Vista general del dashboard en Ubidots. 56
Figura 43. Boxplot humedad del suelo. 57
Figura 44. Boxplot temperatura. 58
Figura 45. Boxplot humedad relativa. 59
Figura 46. Boxplot Humedad del suelo (diciembre). 60
Figura 47. Boxplot temperatura(diciembre). 61
Figura 48. Boxplot Humedad relativa (diciembre). 61

Lista de tablas

Tabla 1. Especificaciones módulo Wireless LoRa-02 433MHz 23
Tabla 2. Especificaciones sensor humedad de suelo SEN0193. 25
Tabla 3. Especificaciones sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. 26
Tabla 4. Especificaciones Panel Solar..... 28
Tabla 5. Especificaciones Módulo cargador de baterías de litio WH-2S80A. 29
Tabla 6. Estructura del mensaje de transmisión y recepción. 31
Tabla 7. Broker y puerto para conexión MQTT Ubidots. 38
Tabla 8. Crendenciales MQTT Ubidots. 38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Celsius
µs	Microsegundo
A	Amperio
ADC	Conversor Analógico Digital
FIFO	First in first out
GHz	Gigahertz
gr	Gramos
ha	Hectáreas
Hz	Hertz
in	Pulgadas
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
kg	Kilogramos
kΩ	Kiloohms
Li-ION	Ion de litio
M	Metros
mA	Miliamperio
MHz	Megahertz
mm	Milímetro
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
RH	Relative humidity
RTOS	Real Time Operative System
UV	Ultravioleta
V	Voltio
W	Vatio
WSN	Wireless Sensor Network

1 Introducción

El hombre a lo largo de la historia se ha caracterizado por siempre buscar la manera de subsistir y adaptarse a las condiciones de vida que el medio le ofrece, tal comportamiento se puede apreciar desde la forma de vida de las primeras civilizaciones nómadas, hasta el desarrollo de actividades como la recolección, la caza y de la agricultura que ayudó a instaurar un nuevo sistema económico y un nuevo estilo de vida [1]. Al darse cuenta de todas las ventajas y facilidades que le brindaba la actividad agrícola, decidieron innovar un poco más y desarrollar lo que se conoce hoy en día como los sistemas de riego [2].

Estos sistemas de riego son un conjunto de elementos que interactúan entre sí para abastecer de agua un cultivo o un terreno determinado con el fin de preservar y optimizar las características del suelo en donde se esté trabajando [3]. La implementación de ellos trajo consigo una gran revolución en el campo agrícola, cambiando así la forma de tratar la tierra y obteniendo resultados satisfactorios a la alta demanda de alimentos debido al acelerado crecimiento poblacional [4], lo que a su vez implica un mayor gasto en recursos hídricos que deben ser controlados ya que en la actualidad se enfrenta una gran crisis ambiental y esto haría que el acceso a él sea mucho más difícil [5] [6]. Muchos de estos sistemas se siguen trabajando de la misma forma en como se hacía en la antigüedad, lo cual se ha demostrado que son muy deficientes y no cubre de manera satisfactoria las necesidades que se tienen hoy en día [7] [4].

A raíz de los grandes avances tecnológicos, se empezó a optar por el uso de dispositivos electrónicos para obtener mejores resultados y unificar criterios acerca de la toma de decisión de cuándo y cuanto regar [8]. En [8], [9] y [10] se evidencian trabajos realizados en el sector agrícola donde se usan microcontroladores para la automatización del sistema de riego, teniendo como principales variables la temperatura, humedad del suelo y humedad relativa. Para lograr una interconectividad en grandes extensiones de terreno y obtener la información antes mencionada, existe una tecnología muy útil capaz de suplir este gran inconveniente y se denomina Internet of Things (IoT) [11].

Otra solución para esa necesidad de comunicación entre los diferentes nodos que por lo general se encuentran muy distanciados entre sí, es la implementación de redes de sensores inalámbricos, o

WSN por sus siglas en inglés (Wireless sensor network), lo cual consiste en instalar dispositivos o módulos situados en diferentes puntos estratégicos para poder realizar las mediciones de las variables de estudio, tales como la humedad del suelo y temperatura [12]. Una de sus características principales es que cuenta con un bajo consumo energético [12] [13]. Cada uno de estos nodos se encuentran constituidos de la siguiente forma: Poseen un microcontrolador que será el encargado de manejar toda la lógica; una fuente energética; radiotransmisores para crear una conexión entre ellos; y los elementos sensoriales para la recolección de datos [12] [14].

Una de las alternativas que se busca desarrollar es el uso de energía no convencional como lo fotovoltaica, aprovechando la radiación solar que yace en el terreno y así incentivar el uso de fuentes energéticas renovables y amigables con el medio ambiente [15] [16], además de evitar una total dependencia del fluido eléctrico por lo que se pueden presentar eventuales interrupciones del servicio. Además, es muy importante tener en cuenta el lugar en donde la carga será almacenada, por ejemplo, las pilas de iones de litio (Li-ION) [17].

Actualmente, el sistema de riego del campus de la Universidad del Magdalena no se encuentra automatizado y presenta muchas deficiencias en su funcionamiento como lo es la mala gestión del recurso hídrico, lo que empieza a ser una necesidad por cubrir. Para solventar esta problemática, en este proyecto se implementaron dispositivos electrónicos capaces de tomar muestras de la temperatura y humedad del suelo en puntos estratégicos del terreno a través de una (WSN), y estos datos son enviados a un servidor web mediante IoT.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Implementar un sistema de riego autónomo en la Universidad del Magdalena teniendo en cuenta las variables del suelo y ambientales para optimizar los recursos hídricos y energéticos.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un estudio del sistema de riego actual de la Universidad del Magdalena para tener conocimiento de la red y control de riego actual.
- ✓ Establecer el área con mejores condiciones de suelo con el objeto de garantizar un sistema de riego eficiente.
- ✓ Diseñar el sistema de riego automatizado a través redes de sensores inalámbricos.
- ✓ Implementar una interfaz de monitoreo donde se visualice el comportamiento en tiempo real del sistema y variables medidas.
- ✓ Implementar un sistema capaz de optimizar los recursos hídricos y energéticos de la institución.
- ✓ Realizar pruebas de los sistemas de comunicación de los nodos con un sistema de respaldo para la puesta en marcha del sistema completo.

3 Materiales y Métodos

El desarrollo del presente proyecto consta de 3 partes importantes: un sistema de monitoreo y recolección de datos, un nodo actuador y un Gateway que servirá como puente de conexión hacía la base de datos. Estas en conjunto forman una red de sensores inalámbricas que permiten la automatización del sistema de riego en la granja experimental de la Universidad del Magdalena.

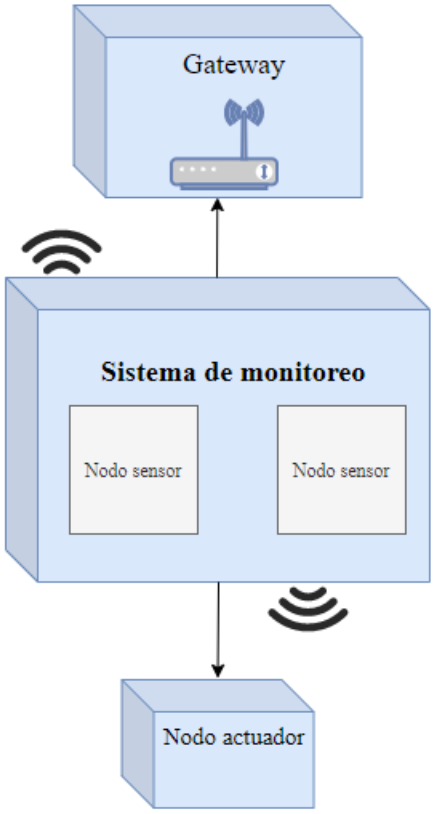

Figura 1. Esquema general de la red de sensores
Fuente propia

En la Figura 1 se muestra el esquema general de la red de sensores. El sistema de monitoreo será el encargado de enviar la información recolectada hacia el nodo actuador y el Gateway; además, el panel que se logra visualizar sirve para el abastecimiento de energía y carga de baterías que tomarán la misma función una vez haya ausencia de luz solar.

3.1 Metodología

Se propone una metodología de desglose de tareas de acuerdo con cada objetivo específico. Para tal fin, se determinaron las siguientes actividades:

- ✓ Realizar un estudio del sistema de riego actual de la Universidad del Magdalena para tener conocimiento de la red y control de riego actual.
    - o Obtener información del funcionamiento actual del sistema de riego a partir del personal a cargo.
- ✓ Establecer el área con mejores condiciones de suelo con el objeto de garantizar un sistema de riego eficiente.
    - o Visitar las diferentes áreas de la Universidad del Magdalena que cuentan con un sistema de riego previamente instalado.
    - o Identificar dentro de las posibles áreas de trabajo, una que cuente con un fácil acceso a la red de tuberías y elementos finales de control.
- ✓ Diseñar el sistema de riego automatizado a través redes de sensores inalámbricos.
    - o Diseñar los sistemas de adquisición de datos del sistema por medio de la programación de los diferentes dispositivos y sensores.
    - o Realizar la conexión de los diferentes nodos del sistema por medio de los módulos de radiofrecuencia LoRa.
- ✓ Implementar una interfaz de monitoreo donde se visualice el comportamiento en tiempo real del sistema y variables medidas.
    - o Programar el Gateway para que reciba los datos provenientes de los sensores.
    - o Almacenar los datos en la base de datos UBIDOTS.
- ✓ Implementar un sistema capaz de optimizar los recursos hídricos y energéticos de la institución.
    - o Preparar la recepción de los datos en el actuador.
    - o Determinar las condiciones en las cuales se iniciará el riego.
    - o Empalmar los sistemas micro controlados con los sistemas de potencia.
- ✓ Realizar pruebas de los sistemas de comunicación de los nodos con un sistema de respaldo para la puesta en marcha del sistema completo.
    - o Diseñar el sistema de almacenamiento de datos en microSD para respaldo del sistema ante fallas del sistema.

3.2 Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo es la fuente principal de datos, en él se encuentran los sensores encargados de tomar la lectura de las variables de estudio como lo son la humedad del suelo, humedad relativa y temperatura; cuenta un módulo de radiofrecuencia, un reloj y una unidad de respaldo de memoria para evitar cualquier fuga de información. La integración de todos estos elementos para su funcionamiento en conjunto se debe a la tarjeta de desarrollo ESP32, pues en ella se encontró que posee todos los periféricos y herramientas necesarias para alcanzar dicho objetivo. En la Figura 2 se tiene el diagrama de bloques de los nodos sensores

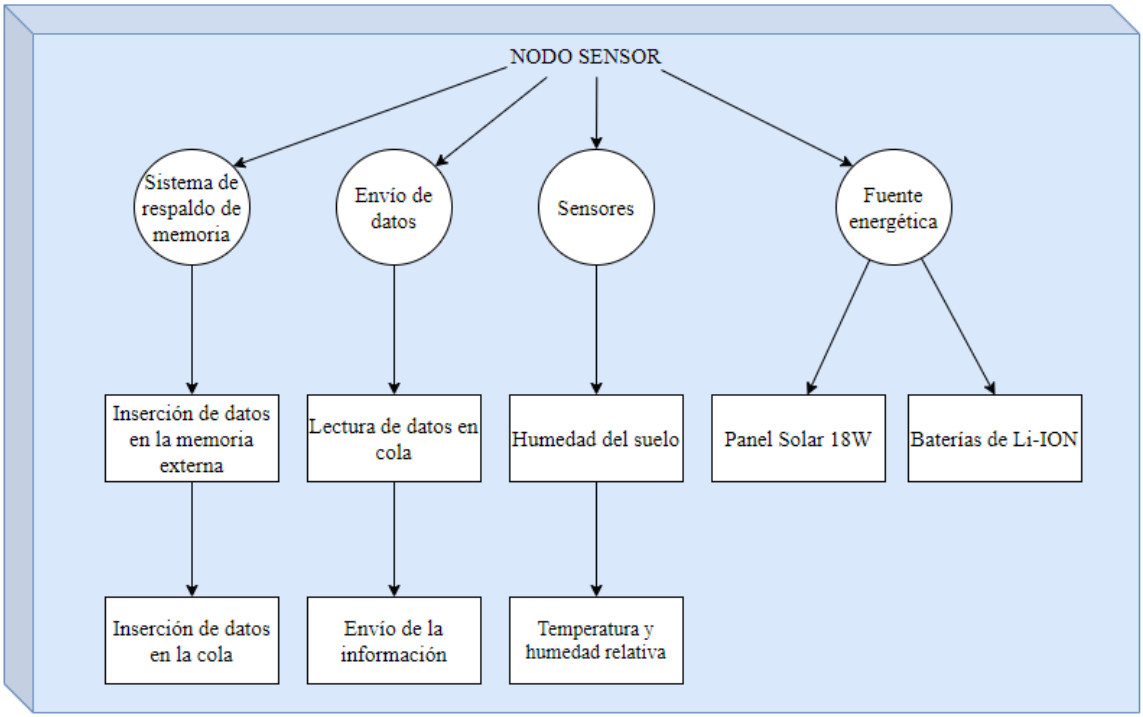

Figura 2. Diagrama de los nodos sensores.
Fuente propia

La ESP32 se caracteriza por su uso en ecosistemas aislados de una conexión a internet, lo cual facilita y sirve como puente de enlace por medio de diferentes protocolos de comunicación. En la Figura 3 y en la Figura 4, se encuentra una información más detallada acerca de su pinout y un diagrama de bloques con todas las características que posee, respectivamente.

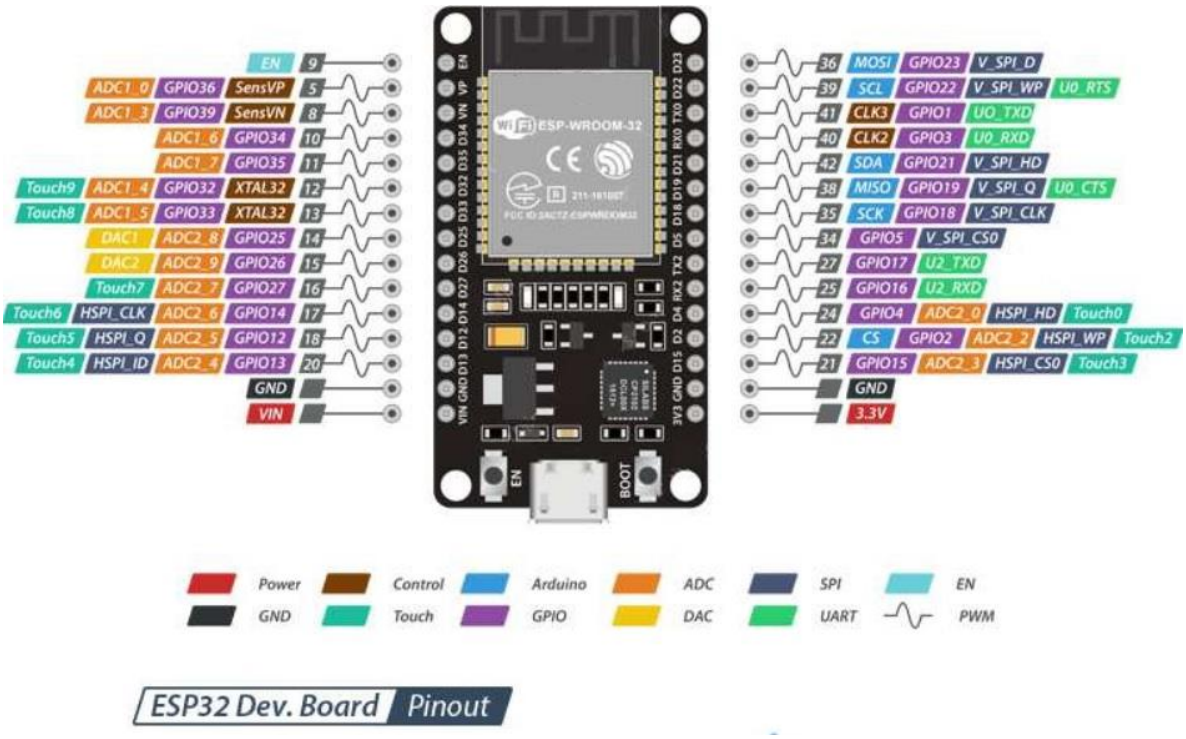

Figura 3. ESP32
Fuente: ESPRESSIF

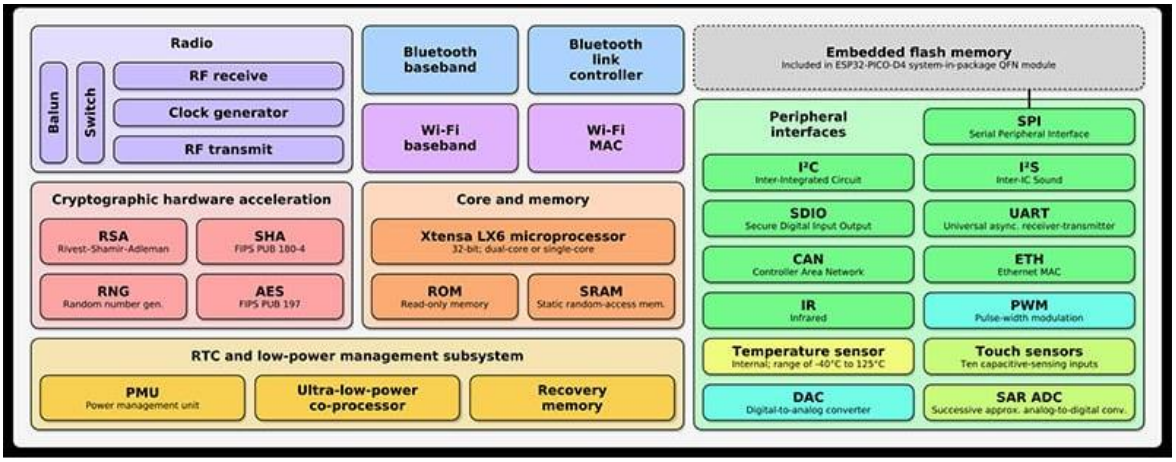

Figura 4. Diagrama de bloques ESP32
Fuente ESPRESSIF

Estos drivers antes mencionados son los protocolos de comunicación SPI, I2C y el conversor análogo-digital (ADC por sus siglas en inglés), cada uno de ellos relacionados con un elemento en específico. Primer paso se realizan todos los ajustes necesarios para iniciar la comunicación I2C, este se utiliza para la inicialización del reloj. Segundo, se configura los módulos SPI para el respaldo en memoria a

través de una tarjeta microSD y las antenas LoRa, estas últimas cumplirán con la función de radiocomunicación. Y, por último, habilitar el ADC para la lectura del sensor de humedad del suelo. El sensor de temperatura y humedad relativa no requiere de un proceso de configuración tan minucioso, en el solo basta con tener disponible una entrada digital al microcontrolador y detectar las señales o lecturas que vaya realizando. En la Figura 5 se logra ver el detalle mediante un esquemático las conexiones descritas anteriormente.

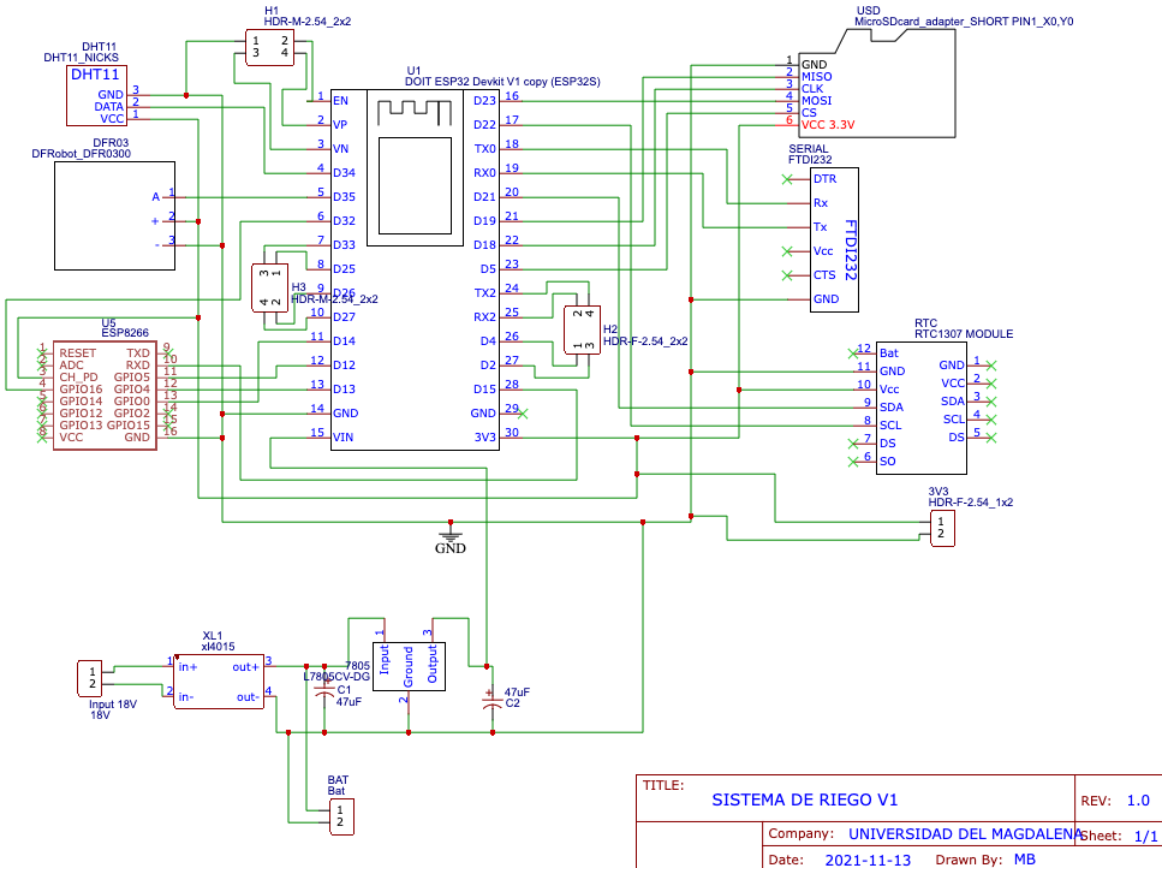

Figura 5. Esquemáticos de los nodos sensores.
Fuente propia

Luego de haber concluido con todos estos pasos de configuraciones, se inicia la definición de las tareas, y acá hay que hacer un énfasis muy importante puesto que es un término que sobresale en los sistemas operativos en tiempo real (RTOS por sus siglas en inglés). Una tarea no es más que un proceso que debe cumplir con una función en específico sin importar su grado de dificultad, análogamente es lo que se conoce como una función en un paradigma de programación secuencial. Pero al estar tan ligada al concepto de RTOS, abre un mundo de posibilidades y de mejora en el

desarrollo de mecanismos que requieran de múltiples ocupaciones ejecutándose de manera simultánea.

Los sistemas RTOS son aquellos permiten desarrollar diferentes obligaciones, o como se mencionó anteriormente tareas, de forma paralela; es decir, el inicio de una no va a requerir que previamente se haya culminado una actividad como requisito. Esto se logra con la ayuda de tarjetas de desarrollo que cuentan con varios núcleos de procesamiento, como es el caso de ESP32 que cuenta con 2; esto significa cada núcleo podrá ejecutar de manera independiente el proceso que se le vaya a asignar. Ahora bien, en términos muchos más profundos y electrónicos, los sistemas RTOS simulan este paralelismo ya que viendo con más detenimiento su funcionamiento se logra apreciar que dicha simultaneidad no es completamente cierta, pero si es imperceptible para el hombre puesto que la diferencia de tiempos entre la realización de una tarea y otra se encuentra en la escala de µs.

3.2.1 Tareas

3.2.1.1 Respaldo de memoria microSD

En este punto, luego de haber realizado los ajustes al periférico SPI, se inició la configuración de una tarjeta microSD que servirá como memoria externa, en ella se almacenará la lectura obtenida de las variables de estudio del terreno en donde son instalados estos nodos sensores. Primeramente, se formatea la memoria, esto con el fin de evitar que en ella se encuentren archivos no deseados y generen conflicto al momento de acceder a ella; luego se le especifica la cantidad de archivos máximo que en ella puede haber y su capacidad máxima, cabe resaltar en la mayoría de los casos no se alcanza a cubrir la totalidad del almacenamiento por lo que es recomendable hacer este tipo de ajustes.

Siguiente paso, se procede a configurar los pines que serán usados para la comunicación entre el microcontrolador y la memoria SD (Figura 6) y se verifica que todo esto sea desarrollado de manera exitosa para así evitar rupturas en el funcionamiento. Este sistema cumple un papel muy importante por lo que de él se extrae la información que luego será enviada a los puntos de recepción final, para eso se crea un documento de texto plano en el que se registraran todas las variables medidas junto con su respectiva hora y fecha en la que fue realizada.

Figura 6. Módulo para memoria microSD.
Fuente comercio electrónico mercado libre

3.2.1.2 Envío de datos

Esta es una tarea muy breve y sencilla, pero a la vez es de las más relevantes, es acá donde la red de sensores establece el puente de conexión de forma inalámbrica con sus destinos, ya sean el nodo actuador o el Gateway. Se centra en el funcionamiento de los módulos de radiocomunicación LoRa, estas son caracterizadas por su versatilidad y el largo alcance que ofrecen, especialmente en línea de vista, y operan en un rango de frecuencia de 420MHz – 450MHz. Antes de iniciar el proceso de transmisión, es necesario especificar los parámetros de funcionamiento de las antenas, en este caso su frecuencia de operación (433 MHz) y su rol en la comunicación (transmisor). En la Figura 7 y en la Tabla 1 se muestra el módulo utilizado para la conexión entre los diferentes puntos y los datos generales del mismo, respectivamente.

Figura 7. Módulo Wireless LoRa-02 433MHz
Fuente mercado electrónico didácticas electrónicas

Tabla 1. Especificaciones módulo Wireless LoRa-02 433MHz

Especificaciones	**Valores**
Voltaje de operación	1.8 – 3.7 V
Corriente de recepción	≤ 10.8 mA
Corriente de transmisión	≤ 120 mA
Rango de frecuencia	420 MHz – 450 MHz
Estándar Wireless	433 MHz

Fuente propia

Una vez esté todo preparado para el envío, se debe acceder al sistema de respaldo de memoria para extraer de ahí el mensaje que viajará a través de estos dispositivos, pero como se mencionó anteriormente, la escritura en la microSD es una tarea completamente aparte e independiente; debido a esto se recurre al uso de colas (Queue). Las colas son unas estructuras de datos muy similares a los buffers, en ellas pueden almacenar una cantidad de información limitada que debe ser definida. Generalmente son usadas con la lógica FIFO (FIRST IN FIRST OUT), es decir, el primer dato que se escribe en ella será el primero en salir una vez sea utilizada Figura 8, y permiten compartir la fuente de almacenamiento entre estos dos procesos [18].

Si la cola ya ha sido creada y aun no tiene ningún dato, se comportará como un factor bloqueante hasta que llegue el primer paquete en ella, por lo que facilita el control en la transmisión ya que se estipuló un lapso de 10 minutos en la toma de muestras por lo que las variables no toman cambios tan significativos en periodos de tiempos tan cortos. En la Figura 8 se logra ver de forma más detallada la secuencia de escritura y lectura en una cola.

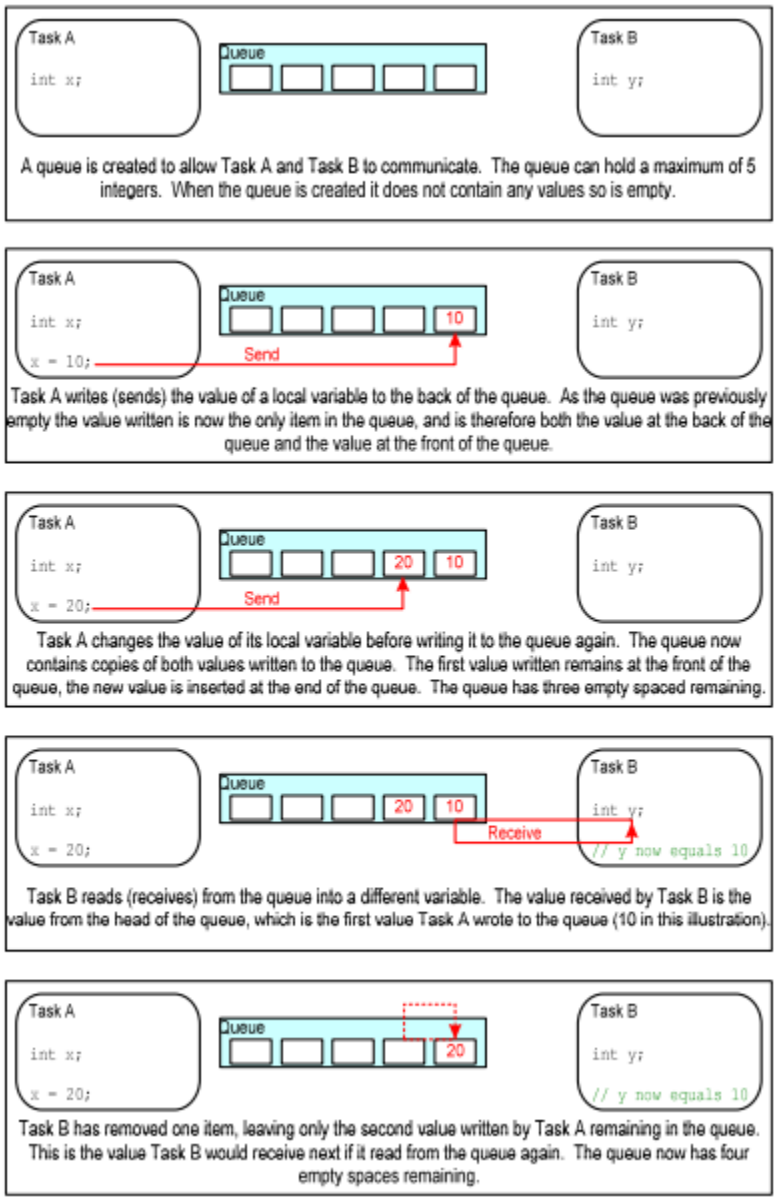

Figura 8. Ejemplo de secuencia de escritura y lectura en una cola.
Fuente USING THE FREERTOS REAL TIME KERNEL A Practical Guide

3.2.2 Sensores

3.2.2.1 Sensor humedad del suelo SEN0193

El sensor de humedad de suelo SEN0193 es de tipo capacitivo resistente a la corrosión. Este elemento de medición debe ser insertado en el suelo hasta una altura determinada para así evitar daños en él. Incluye un regulador de voltaje para operar en los rangos de 3.3 – 5.0 voltios (V) y se comunica al microcontrolador a través de la interfaz 3-pin obteniendo de él las lecturas de una señal análoga. En la Figura 9 se logra ver el sensor de humedad utilizado, mientras que en la Tabla 2 se tienen sus especificaciones técnicas.

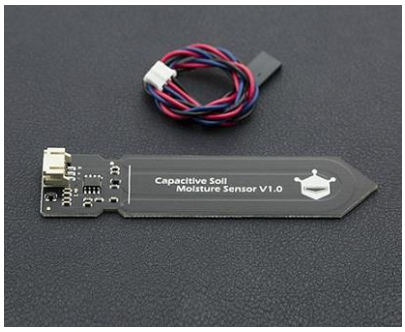

Figura 9. Sensor humedad del suelo SEN0193.
Fuente mercado electrónico didácticas electrónicas

Tabla 2. Especificaciones sensor humedad de suelo SEN0193.

Especificaciones	Valores
Voltaje de operación	3.3 – 5.0 V
Voltaje de salida	0 – 3.0 V
Corriente de operación	5mA
Interfaz	PH2.0 – 3P
Dimensiones	3.86 x 0.905 in
Peso	15 gr

Fuente propia

3.2.2.2 Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11

Posee una alta fiabilidad y estabilidad gracias a su señal digital calibrada, además viene con una resistencia pull-up de 5kΩ para protección. Tiene un funcionamiento muy particular, puede captar la temperatura y humedad relativa mediante señales análogas, y el internamente realiza su conversión a una digital que es leída por la tarjeta de desarrollo. En la Figura 10 se encuentra el sensor de temperatura utilizado, y en la Tabla 3 sus especificaciones técnicas.

Figura 10. Sensor temperatura y humedad relativa DHT11.
Fuente mercado electrónico didácticas electrónicas

Tabla 3. Especificaciones sensor de temperatura y humedad relativa DHT11.

Especificaciones	Valores
Voltaje de operación	3.5 – 5.0 V
Corriente de operación	2.5mA
Rango de temperatura	0°C - 50°C
Precisión temperatura	25°C ± 2°C
Resolución temperatura	1°C
Rango humedad relativa	20% RH – 90% RH
Precisión humedad relativa	0°C y 50°C ± 5% RH
Resolución humedad relativa	1% RH

Fuente propia

- **Trama de la señal**

Su trama de datos consta de 5 grupos de 8 bits para un total de 40 bits: los dos primeros grupos hacen referencia a la parte entera y decimal, respectivamente, de la variable humedad relativa; los dos siguientes a la parte entera y decimal de la temperatura; y el último contiene los bits de paridad que son los encargados de especificar que no hay datos corruptos o una mala lectura de estos, tal y como se ilustra en la Figura 11.

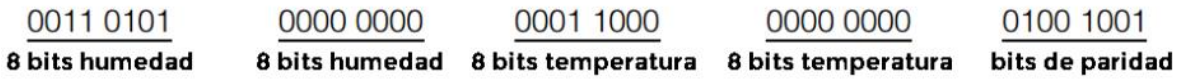

Figura 11. Trama de datos Sensor temperatura y humedad relativa DHT11.
Fuente https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/

3.2.3 Fuente energética

Estos nodos sensores por estar ubicados en el terreno donde se aplica el riego que en general son grandes extensiones de tierra en donde lo único que se puede encontrar es la vegetación a que se irá a tratar, presentan un gran inconveniente y es la forma en que ellos se pueden abastecer de energía, son muy contados los casos en que se logre estar cerca de un punto de alimentación o que inclusive haya cableado de fluido eléctrico. Por esta principal razón es que se recurre fuentes de energías alternativas como por ejemplo la solar, que es un denominador común en las actividades agrícolas.

Para el aprovechamiento de este recurso renovable es necesario la instalación de paneles solares, como el de la Figura 12, pues estos captan los rayos ultravioletas (UV) emitidos por el sol y los transforman en fuente de poder apta para consumir, lo que significaría que mientras haya luz solar el sistema de monitoreo se encontrará energizado y funcionando de manera correcta. En la Tabla 4 se encuentran las especificaciones técnicas del panel solar.

Figura 12. Panel solar 20w.
Fuente mercado electrónico didácticas electrónicas

Tabla 4. Especificaciones Panel Solar.

Especificaciones	**Valores**
Voltaje óptimo	18.50 V
Voltaje en circuito abierto	22 V
Potencia máxima	20 W
Corriente óptima de operación	1.08 A
Corriente de corto circuito	1.16 A
Temperatura	40°C – 85°C
Dimensiones	485mm x 360mm x 28mm
Peso	2.3 Kg

Fuente propia

Por consiguiente, surge un inconveniente y es que una vez el sol se oculte estos paneles o celdas fotovoltaicas dejarán de proveer energía a todo el sistema, es por esto por lo que mientras cumplan su ciclo de utilidad durante el día, se debe tener en cuenta un lugar en donde poder almacenar todo este recurso y así alargar su ciclo de vida durante las 24 horas, y una de las mejores opciones son las baterías de ion de litio (Li – ION).

Estas baterías podrán suplantar el papel y la función de las celdas en horas de la noche, ellas durante el día pueden ser cargadas con la luz ultravioleta captada y descargarse cuando abastecen al sistema de monitoreo. Este proceso de carga y descarga debe ser muy cuidadoso puesto que un exceso de energía o una sobre descarga de estas pueden provocar una pérdida total. Para ello se utilizó el módulo de la Figura 13 cuyas características son descritas en la Tabla 5. Lo más recomendable es siempre manejar un rango para evitar llegar a ambos extremos, este por lo general siempre está entre los 3.0 V – 3.7 V, cabe resaltar que estos valores pueden variar de acuerdo con la hoja de datos del fabricante de las baterías.

Figura 13. Módulo cargador de baterías de litio WH-2S80A.
Fuente mercado electrónico mercado libre

Tabla 5. Especificaciones Módulo cargador de baterías de litio WH-2S80A.

Especificaciones	Valores
Voltaje de carga	9 V
Voltaje de detección de sobrecarga	4.29 V
Voltaje de detección de sobre descarga	3 V
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C – 80°C
Corriente de corto circuito	1.16 A
Temperatura	40°C – 85°C

Fuente propia

3.3 Gateway

Hasta el momento la información de las variables de estudio es obtenida y almacenada en el sistema de respaldo de memoria externa, lo que implica que para acceder a ella hay que ir a los puntos de los nodos sensores. Pero esto resulta ser un trabajo muy anticuado cuando se encuentra una herramienta muy importante y al alcance de todos como lo es el internet. Para poder integrarla se hace necesario implementar un dispositivo que sirva como una ruta de enlace o puerta de acceso, lo que es comúnmente llamado Gateway. En la Figura 14 se tiene el esquema general del Gateway.

Este módulo cuenta con una antena LoRa trabajando como receptor y la tarjeta de desarrollo junto con su periférico de WiFi para servir como puente con la base de datos en la nube de UBIDOTS. En la Figura 15 se logra ver el esquemático implementado.

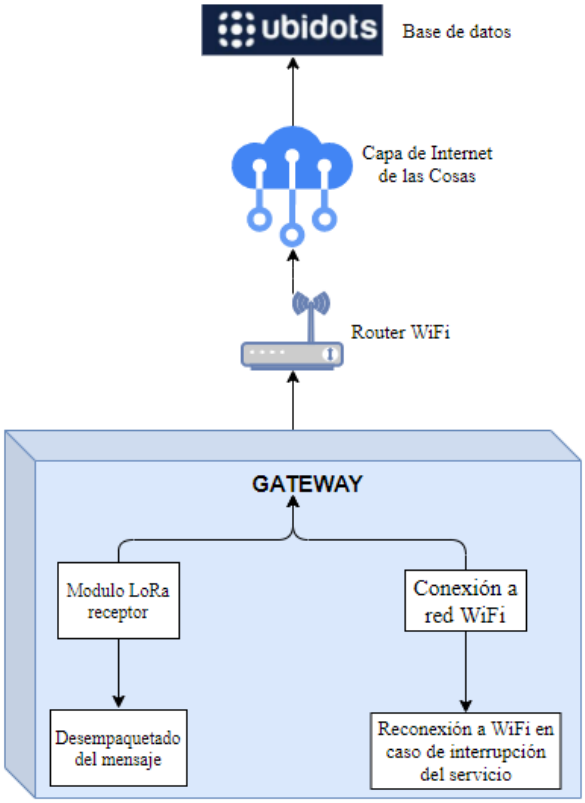

Figura 14. Esquema general Gateway.
Fuente propia

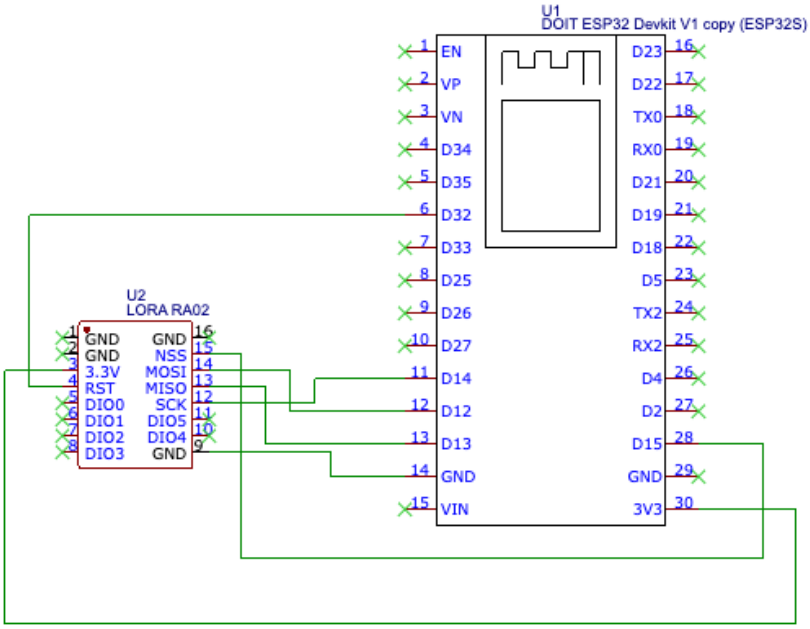

Figura 15. Esquemático Gateway
Fuente propia

3.3.1 Recepción de los datos

- **Trama del mensaje recibido**

Para la transmisión y recepción de los datos, se definió una estructura particular para los mensajes con el fin de poder manipularlo de una manera sencilla y práctica, tal y como se muestra en la Tabla 6. Ella consiste en organizar los valores de las variables medidas en una línea de texto separados por comas, coincidiendo con el siguiente orden: nodo de origen o identificador, humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, hora, minuto, segundo, día de la semana, día del mes, mes y año.

Tabla 6. Estructura del mensaje de transmisión y recepción.

Trama del mensaje										
Id	Humedad del suelo	Temperatura	Humedad relativa	Hora	Minuto	Segundo	Dia	Dia mes	Mes	Año

Fuente propia.

- **Desempaquetar mensaje**

Una vez recibida la información de la red de sensores, se procede a almacenar dentro de un buffer debido a que el mismo mensaje se encuentra construido de la misma manera. Pero por directrices del servicio de la base de datos, este no puede ser enviado de manera instantánea y debe seguir un formato específico del que se hablará más adelante. Al estar las variables separadas por comas dentro del mensaje, se puede recorrer la cadena de caracteres y cada vez que se encuentre con el delimitador, se extrae el valor y se convierte a una variable de tipo entero.

3.3.2 Tareas

3.3.2.1 Envío de datos por WiFi

Uno de los drivers de la ESP32 configurados inicialmente fue el WiFi. Posteriormente, se realizan los ajustes necesarios para realizar un enlace a una red wifi de 2.4 GHz, entre ellos definir la operación en modo estación y construir un manejador de eventos de la red. Este controlador permitirá obtener información detallada de todo el proceso de conexión, se puede saber con precisión el momento en que el periférico inicia su operación, conecta a una red, obtiene una dirección ip propia, cuando ocurra una desconexión y cuando se apague dicho driver. Una vez establecida la conexión, se define el tipo de protocolo a usar para el almacenamiento y acceso a la base de datos, en este caso se decidió por MQTT, muy común al tratarse aplicaciones con IoT.

3.3.2.2 Reconexión WiFi

Un evento que puede llegar a ocurrir es que se presente una caída del servicio o incluso el mismo dispositivo sea quien se desconecte por temas de alcance de red o inactividad. Para solventar este tipo de inconvenientes se encarga una tarea en específico mediante la vigilancia del manejador de eventos. Cada vez que ocurra una desconexión, el proceso entrará a funcionar con la más alta prioridad para reestablecer la conexión y poder continuar con el traslado de la información hacía la nube, con la cantidad de intentos que sean necesarios puesto que uno de los resultados finales es que el usuario pueda visualizar esta información en tiempo real. Este intercambio de prioridades o interrupciones en los procesos ocurre gracias a los semáforos.

Los semáforos son utilizados para bloquear o desbloquear tareas cuando una interrupción en particular ocurra, lo que permite manejar distintas funciones con mucha más eficacia y pertinencia. Se comportan de una forma muy similar a las colas, si no se encuentran disponibles, la tarea que lo requiera entrará en un estado bloqueante hasta que aquella que lo posea, decida entregarlo [18]. En la Figura 16 se visualiza el funcionamiento de un semáforo.

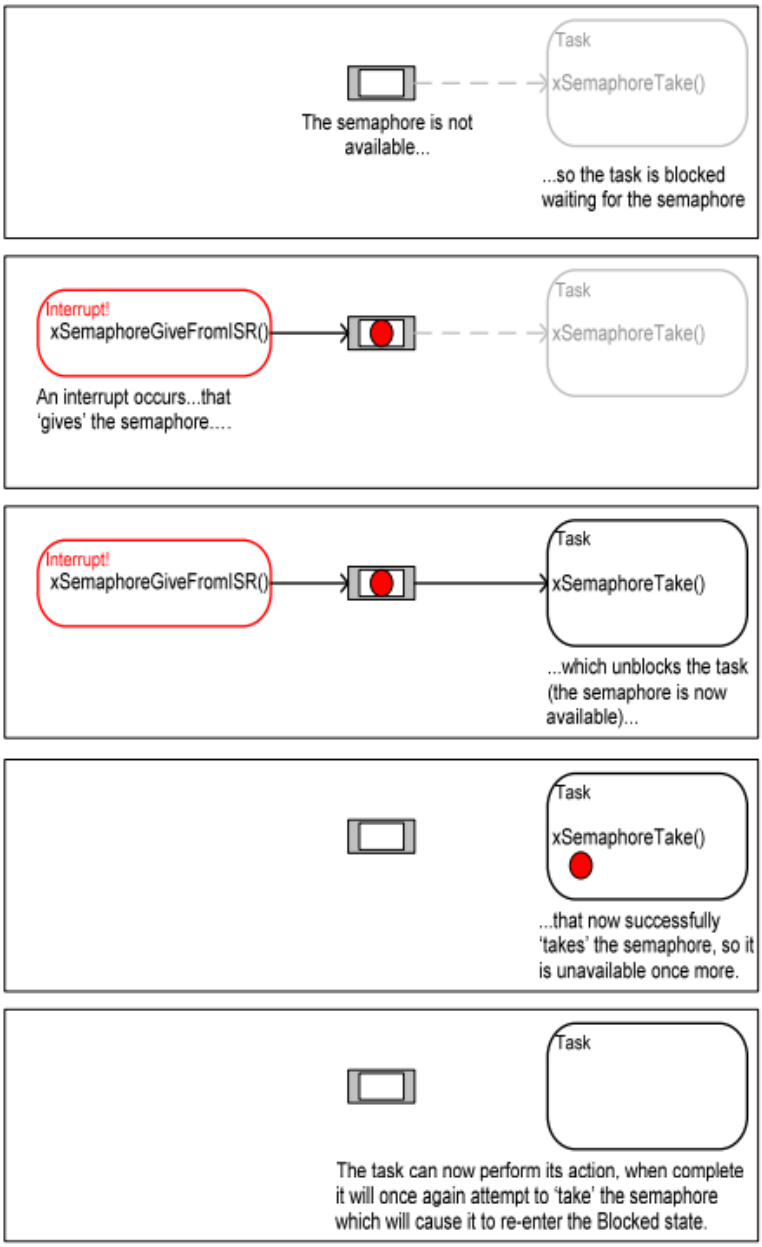

Figura 16. Funcionamiento de un semáforo.
Fuente USING THE FREERTOS REAL TIME KERNEL A Practical Guide

3.3.3 Protocolo MQTT

El protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de comunicación basado en el paradigma Publish/Subscriber, el cual permite transmitir y recibir mensajes para un grupo de clientes en específico. Este paradigma permite que los usuarios puedan asignar salas o topics

centralizados en un servidor el cual recibe el nombre de bróker; puede contener múltiples topics donde cada uno de ellos permitirá una adecuada comunicación con los usuarios que se encuentren suscritos [19].

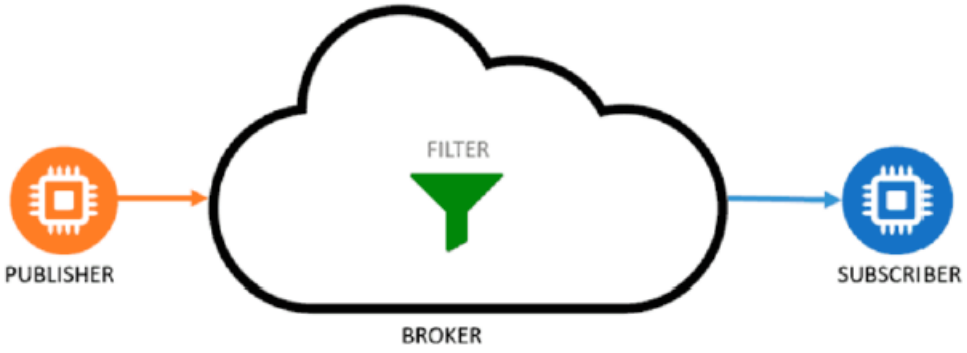

Figura 17. Modelo de un protocolo MQTT.
Fuente DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN IOT CON ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE DATOS EN LA NUBE MEDIANTE EL PROTOCOLO MQTT.

En la Figura 17 se pueden distinguir cada uno de los elementos que interactúan:

- ✓ El Publisher es quien envía el mensaje a un topic especifico al bróker. Los topics se pueden entender como una contraseña o sala de chat en el que solo ingresan los usuarios que conozcan el topic.
- ✓ El subscriber son todos los dispositivos que ya han ingresado al topic con anterioridad, son los que recibirán los mensajes enviados por el Publisher.
- ✓ El bróker es el servidor encargado de administrar los mensajes que trasmite el Publisher y hacerlos llegar a los respectivos subcriber de los topics correspondientes.

3.3.3.1 Funcionamiento

Lo primero que se debe realizar es la conexión mediante TCP/IP entre el cliente y el bróker, tal como se muestra en la Figura 18, en el caso de este trabajo de investigación es entre el Gateway y Ubidots. Este enlace permanecerá activo hasta que se decida desconectar, y se realiza una vez que el Publisher envíe un mensaje de conexión (CONNECT) y este mismo recibe uno de confirmación por parte del bróker (CONNACK) [20].

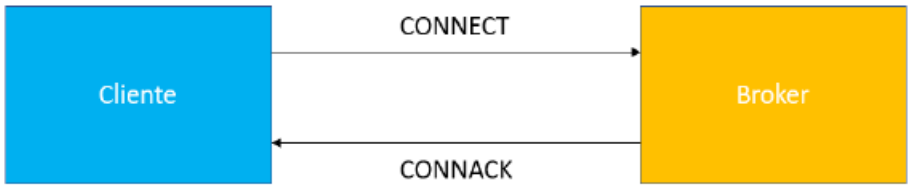

Figura 18. Conexión entre el cliente y el broker.
Fuente DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN IOT CON ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE DATOS EN LA NUBE MEDIANTE EL PROTOCOLO MQTT.

Luego, el usuario podrá suscribirse o no al topic de su interés mediante la transmisión de los mensajes SUBSCRIBE o UNSUBSCRIBE, respectivamente. En él debe ir el nombre del tópico al cual se realizará la acción deseada. Una vez hecho esto, el cliente espera el mensaje de confirmación por parte del bróker (SUBACK/UNSUBACK) indicando que la operación se realizó con éxito (Figura 19).

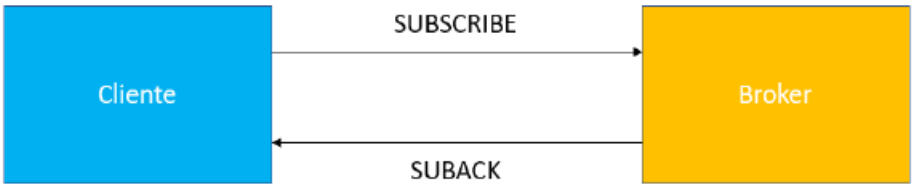

Figura 19. Suscripción a un topic por parte del cliente.
Fuente DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN IOT CON ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE DATOS EN LA NUBE MEDIANTE EL PROTOCOLO MQTT

Y, por último, una vez se esté conectado y suscrito al topic correspondiente, el usuario puede enviar mensajes mediante la acción PUBLISH el cual debe contener el nombre del tópico y el mensaje a publicar (Figura 20).

Figura 20. Publicación de mensajes.
Fuente DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN IOT CON ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE DATOS EN LA NUBE MEDIANTE EL PROTOCOLO MQTT

3.4 Base de datos Ubidots

Ubidots es un servicio de base de datos en la nube, lo cual proporciona una interfaz gráfica para la lectura de las variables tomadas por medio de la red de sensores. Es un software que viene creciendo exponencialmente su uso gracias a que está diseñado para aplicaciones de IoT y porque le permite al usuario utilizar el protocolo de comunicación que más le resulte útil.

3.4.1 Funcionamiento

Presenta una arquitectura muy simple de comprender tal como se presenta en la Figura 21. Como elemento principal destaca los dispositivos (o devices), ellos engloban toda la información que será enviada para una determinada aplicación, es decir, para el caso de esta red de sensores se creó un *device* en particular. Si se requiere de la instalación de otra red de sensores, entonces se debe crear otro *device* para así evitar esta mezcla en los datos.

Segundo, siguen las variables, en ellas estarán todos los valores obtenidos por el sistema de monitoreo. Cada una de ellas debe ir relacionada a un *device* o dispositivo y deben contener nombres declarativos y específicos, por ejemplo, si uno de los datos medidos es la temperatura, entonces se debe crear una variable con el nombre temperatura en la nube de ubidots.

Por último, se encuentran los puntos o dots. Estos son los que se muestran de forma ilustrativa y mediante gráficas, al usuario para realizar el seguimiento al comportamiento de las variables [21].

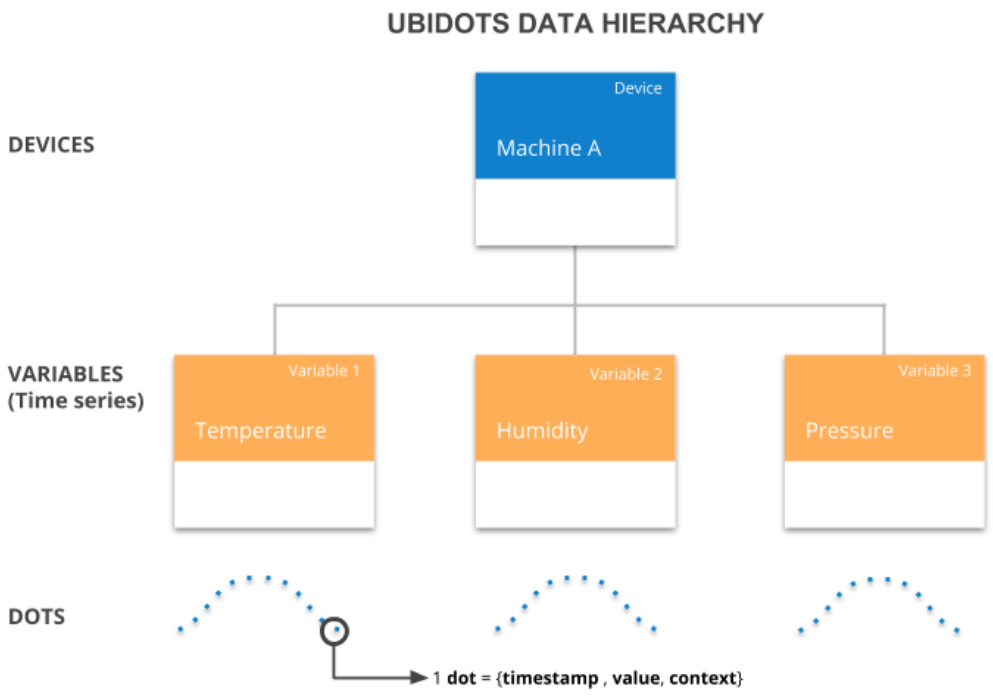

Figura 21. Arquitectura de datos Ubidots.
Fuente página oficial Ubidots

Estos dots presentan la siguiente estructura:

$$1\ dot = \{timestamp, value, context\}$$

Timestamp: Representa el tiempo en formato Unix, en caso de no especificarlo este será asignado automáticamente.

Value: Almacena el valor numérico de la variable medida. Acepta datos tipos flotantes (decimales).

Context: Es una colección en formato json. Es comúnmente usada para guardar los datos de la latitud y longitud de un dispositivo para un seguimiento por GPS.

3.4.2 Envío de datos por MQTT

Esta plataforma presenta diferentes alternativas para el envío de los paquetes, entre ellas se tienen los protocolos HTTP y TCP/UDP. Pero como se mencionó anteriormente, el escogido fue MQTT.

Inicialmente se debe contar con una conexión estable a internet para poder mantener la comunicación. Luego, se accede a los servidores de la plataforma mediante al bróker, este servicio de nube cuenta con diferentes tipos de suscripciones y beneficios, hoy en día está todo centralizado en un mismo *endpoint*. En la Tabla 7 se tiene toda la información acerca del tipo de cuenta, el punto de destino y el puerto al cual conectarse.

Tabla 7. Broker y puerto para conexión MQTT Ubidots.

Cuenta ubidots	Endpoint	Puerto
Industrial	Industrial.api.ubidots.com	1883

Fuente propia.

Una vez que se crea una cuenta en ubidots, este provee al usuario de un identificador único el cual se le denomina token, como se ilustra en la Figura 22. *Acceso a tokens en Ubidots.* Estos tokens son personales y no deberían ser expuestos para así no vulnerar la seguridad de la base de datos. Esta llave también es necesaria para así poder interactuar con los servicios de nube y establecer la conexión con el bróker de MQTT. Los parámetros que se necesitan son los especificados en la Tabla 8.

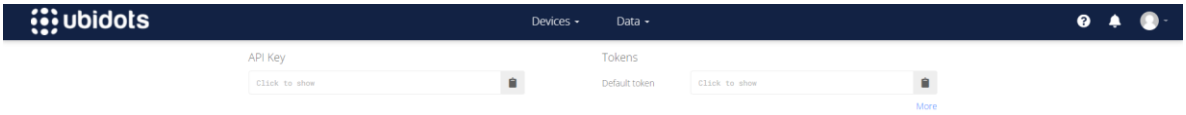

Figura 22. Acceso a tokens en Ubidots.
Fuente página oficial Ubidots

Tabla 8. Crendenciales MQTT Ubidots.

Credenciales MQTT	Parámetro
Username	Ubidots token
Password	No requerido

Fuente propia.

Luego de obtener una respuesta de conexión satisfactoria, se procede a la suscripción del topic, es con este que se podrá realizar la trasmisión de información hacia el dispositivo configurado en la plataforma. La ruta o el enlace del topic es la siguiente:

$$/v2.0/devices/\{DEVICE_LABEL\}$$

Donde el *DEVICE_LABEL* se debe reemplazar por el nombre del device configurado en la plataforma. Una vez suscritos, se debe comenzar a estructurar el mensaje según el formato aceptado que en este caso es JSON (JavaScript Object Notation). Los json son estructuras de datos muy similares a los diccionarios, arreglos asociativos, etc; estos se componen de pares de llaves y valor. La estructura a del mensaje es la siguiente:

$$\{"VARIABLE-LABEL": \{"value": VALUE, "timestamp": TIMESTAMP, "context": \{"KEY": VALUE\}\}\}$$

El "*VARIABLE-LABEL"* se reemplaza por el nombre de la variable que se encuentre asociada al device, y el parámetro "*VALUE"* se cambia por el valor obtenido de la red de sensores. Los campos *"timestamp"* y *"context"* son opcionales. Para el caso de querer enviar 2 o más variables dentro del mismo paquete, se debe seguir la siguiente estructura:

$$\{"VARIABLE-LABEL_1": \{"value": VALUE, "context": \{"KEY": VALUE\}\}, \ldots, "VARIABLE-LABEL_n": \{"value": VALUE, "context": \{"KEY": VALUE\}\}\}$$

3.5 Nodo actuador

Este nodo es el encargado de accionar la bomba de riego y las válvulas que permiten el paso del agua hacía el terreno monitoreado. Consta de un módulo LoRa que funciona como receptor, este recibe el dato proveniente de la red de sensores y de acuerdo con su lectura podrá, mediante un relé, permitir el flujo de corriente para los actuadores finales. A continuación, en la Figura 23 se logra apreciar mediante un esquemático el circuito que se llevó a cabo

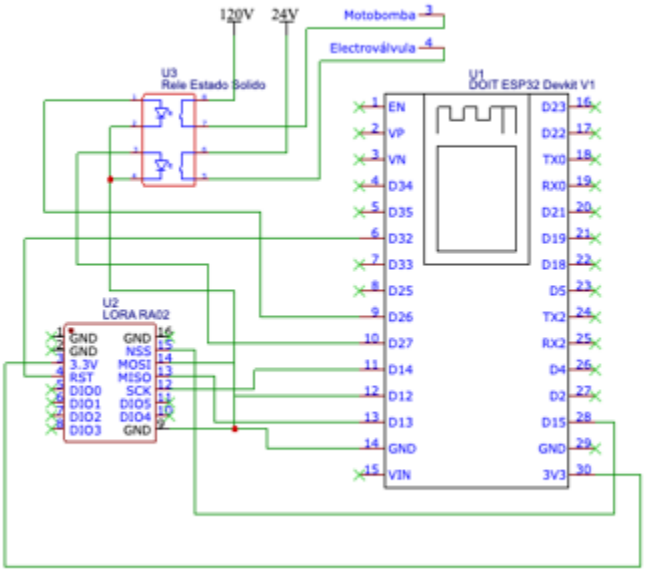

Figura 23. Esquemático nodo actuador.
Fuente propia.

En este punto hay que hacer un énfasis muy importante, actualmente el terreno seleccionado presenta un sistema que funciona de manera manual, hay personas encargadas de encender y apagar la bomba en unos horarios determinados. Por lo que en ella ya se encuentra el diseño de un tablero eléctrico para el manejo de dicha fuerza electromotriz y fue necesario realizar unos ajustes para el acoplamiento del prototipo automatizado que se desarrolló en el presente proyecto. En la Figura 24 se tiene un diagrama del circuito que posee el tablero eléctrico del cual se realizaron los ajustes pertinentes adherirse a él y llevar a cabo la automatización.

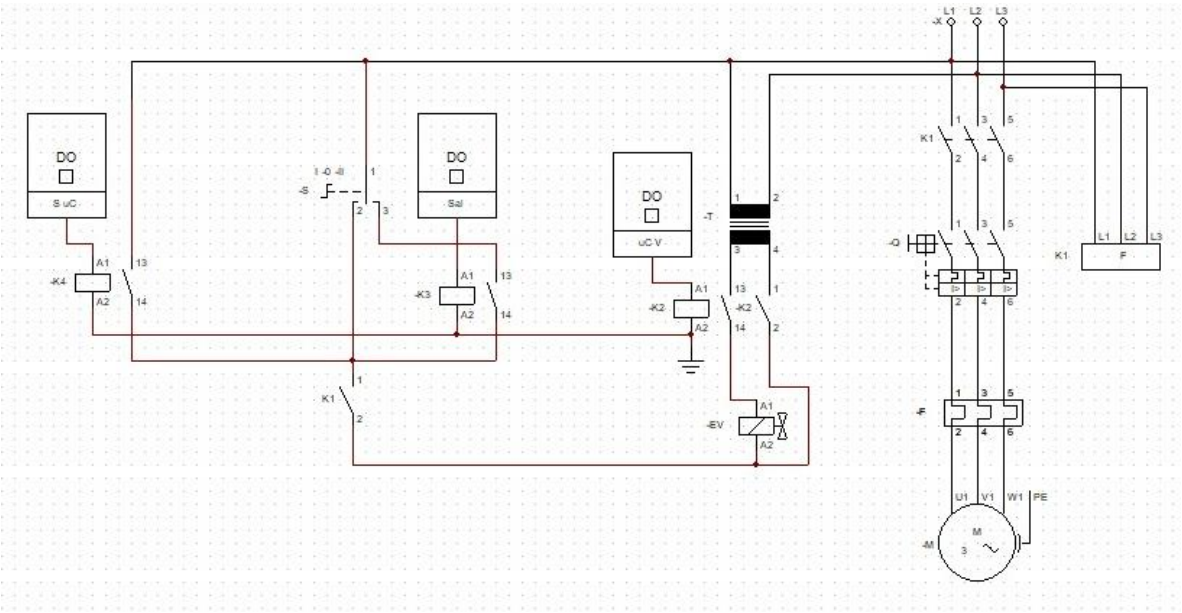

Figura 24. Esquemático tablero eléctrico.
Fuente propia.

3.5.1 Tareas

3.5.1.1 Recepción de datos por radiofrecuencia

Esta tarea se implementa de la misma manera como se explicó en el Gateway mediante módulos LoRa manejando la misma trama en los mensajes y usando el mismo método de desempaquetamiento, en lo que difieren es en el uso final que se les da a los datos recibidos por lo que estos se envían mediante colas hacia la tarea encargada de permitir el flujo de corriente para la activación de los actuadores.

3.5.1.2 Encendido de los actuadores

Como su nombre lo indica, es en este proceso en donde se permite el flujo de la corriente eléctrica hacia los actuadores del sistema, que en este caso son la bomba y las electroválvulas. Esta tarea se pudo simplificar aún más gracias al uso de un relé de estado sólido de dos canales en donde cada

canal se encargaría de su respectivo elemento final y además dependientes de diferentes pines de la tarjeta de desarrollo. Este relé es el que se visualiza en la Figura 25.

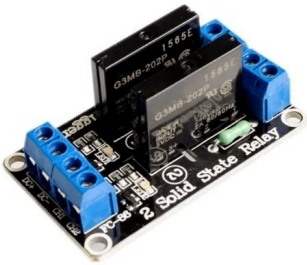

Figura 25. Relé de estado sólido de dos canales.
Fuente mercado electrónico didácticas electrónicas

3.5.2 Actuadores

3.5.2.1 Motobomba

Dicha maquina hace parte de la infraestructura de la Universidad del Magdalena, y conforma el actual sistema de riego. Esta se puede apreciar en la Figura 26.

Figura 26. Motobomba del sistema de riego
Fuente propia

3.5.2.1 Electroválvula

Este elemento habilita la zona en la cual se efectuará el riego, permitiendo indicar a que red de tubería se habilitará el flujo de agua. Esta tiene un voltaje de operación de 24 V AC, lo cual indica que se debe transformar el voltaje dado por la red eléctrica de 110 V (Voltaje de línea) a 12 V, para así con dos líneas, obtener los 24 V. Las electroválvulas mencionadas se muestran en la Figura 27.

Figura 27. Electrovalvulas 24V AC.
Fuente propia

4 Resultados

4.1 Estado actual del sistema de riego

La Universidad del Magdalena posee alrededor de 50 hectáreas de terreno donde hay gran variedad de zonas verdes las cuales requieren riego diariamente. La Figura 28, muestra la vista aérea del terreno constatando la información anterior.

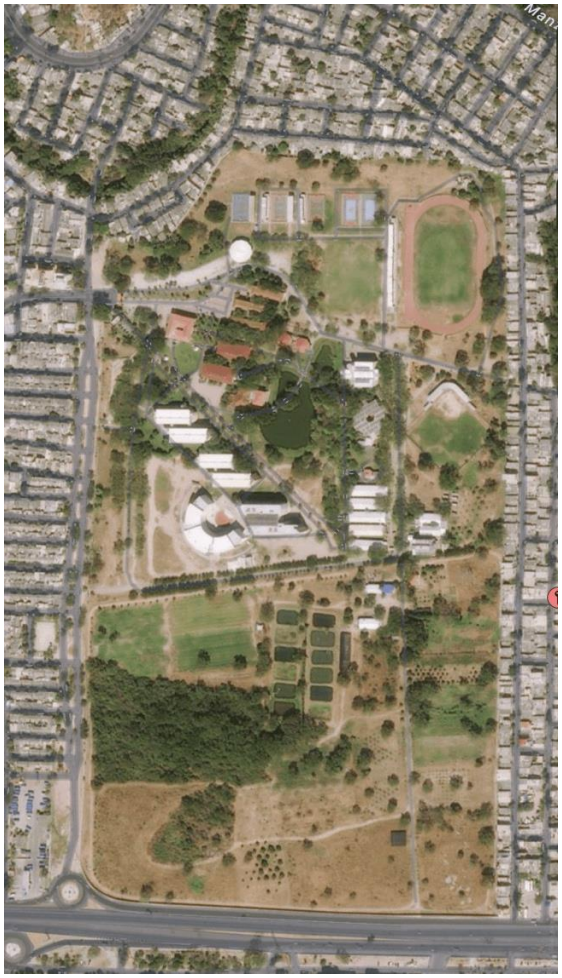

Figura 28. Vista aérea de la Universidad del Magdalena.
Fuente Google Maps

Actualmente su sistema de riego está dividido en tres partes, cada una independiente de la otra. Dos de estas están ubicadas en el campus universitario y una en la graja experimental.

4.1.1 Campus universitario

Se divide en dos, la primera parte es la que está ubicada en el acceso de la Universidad; y la segunda en los edificios administrativos y aulas del alma mater.

La Figura 29, muestra la vista satelital de la entrada o punto de acceso de la institución. Esta zona tiene un sistema de riego propio el cual se encarga únicamente de ella. Dicho sistema está automatizado para irrigar diariamente. La acción se realiza en los horarios matinales, preferiblemente entre 4 am y 5 am.

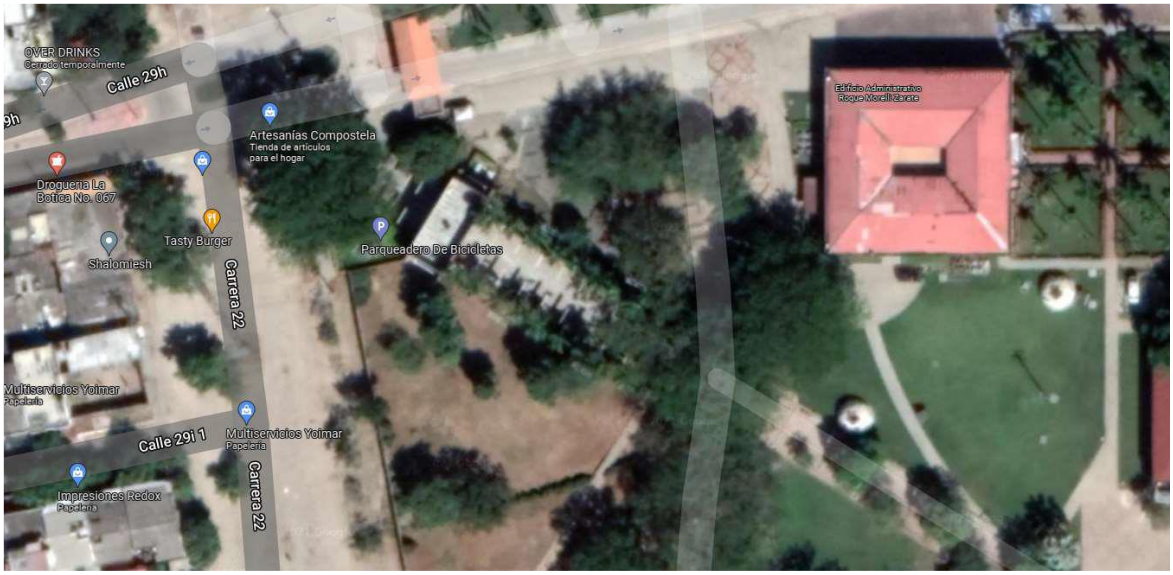

Figura 29. Vista aérea del campus universitario
Fuente Google Maps

La segunda parte del sistema de riego al interior del campus es todo el terreno que ocupan las aras de los edificios administrativos y los bloques de aulas de clase. Este sistema se compone de 2 motobombas ubicadas en el lago de la Universidad.

Acá el riego se encuentra dividido en zonas las cuales son controladas por operadores que deben dirigirse personalmente a cada una de estas a cerrar y abrir las válvulas según corresponda. Cada sector es regado durante una hora a partir de las 5 AM. La bomba utilizada se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Bomba encargada del riego en el campus universitario
Fuente propia

4.1.2 Granja experimental

El sistema de riego en la granja experimental es utilizado para la regar los cultivos presentes en ella y que hacen parte de los diferentes proyectos que desarrolla la planta estudiantil y profesorado.

Este lo compone una motobomba, esta tiene un centro de control más sofisticado que el que se encuentra en el campus de la Universidad dado que este último es completamente manual. El sistema permite alternar entre un funcionamiento manual y automático. En el modo automático está a cargo el controlador GSI24AC que se muestra en Figura 31 el cual permite controlar la puesta en marcha del sistema en función del tiempo, es decir, programar las horas en las cuales se debe regar.

Figura 31. Controlador GSI24AC.
Fuente propia

4.2 Elección del terreno para implementar el sistema de riego

Luego de las entrevistas con el personal a cargo del riego en la Universidad del Magdalena se determinó que la zona seleccionada para trabajar e implementar la automatización del riego es la granja experimental, en ella el sistema presenta toda una red de tuberías adecuada para su correcto funcionamiento y demás equipos necesarios como se describió en el apartado anterior.

A continuación, se tiene una vista aérea del terreno sobre el cual se trabajó, el nodo actuador y el Gateway se ubicaron en zonas en donde la comunicación de los módulos LoRa no presenta una intermitencia que provoque grandes pérdidas de datos.

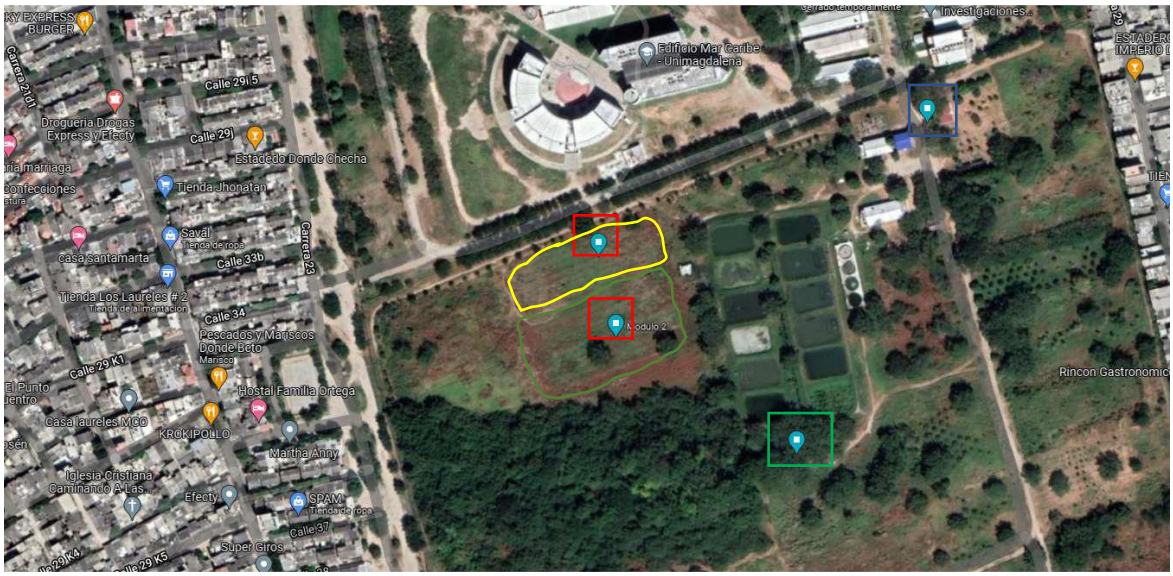

Figura 32. Vista aérea con etiquetas de la red de sensores.
Fuente Google Maps.

En la Figura 32, se puede apreciar los puntos de la red de sensores instalada. Los sensores que se encuentran en las marcas encerradas en un recuadro rojo corresponden a los sistemas encargados de recolectar las variables en campo, estos son los nodos sensores; en azul el Gateway y, por último, en el recuadro verde está ubicado el actuador. En las zonas amarilla y naranjada, se encuentran los aspersores que son controlados por cada una de las electroválvulas disponibles para el desarrollo del

proyecto. La distancia de separación entre los dos nodos sensores y los demás puntos que son el Gateway y el nodo actuador son de 140m y 250m, respectivamente.

4.3 Sistema de monitoreo

4.3.1 Implementación del sistema de monitoreo

En la Figura 33 se puede apreciar la circuitería desarrollada para la instalación de los diferentes nodos sensores para la implementación de la red de sensores inalámbricos. En ellos se pueden encontrar los sensores utilizados, el sistema de respaldo de memoria externa y la fuente de energía.

En primera instancia, la entrada de voltaje sería aquella que proviene de los paneles solares, esta pasa por el conversor DC – DC y se reduce a 5V debido a que es el valor necesario para que entre en funcionamiento el módulo balanceador de carga WH-2S80A de las baterías. En paralelo a ello, la misma fuente alimentación sirve para para la puesta en marcha del microcontrolador ESP32 con sus respectivos periféricos descritos anteriormente. El módulo de radiofrecuencia LoRa se encontrará enviando los paquetes de datos o mensajes en un intervalo de 10 minutos, esto para poder tener un seguimiento más riguroso al comportamiento de las variables medidas. De igual manera se cuenta con el sistema de respaldo de memoria en caso tal de fallar un envío a la base de datos de la nube.

Figura 33. Implementación de los nodos sensores.
Fuente propia

Se cuenta con dos nodos o módulos como este, los cuales fueron ubicados en los puntos de interés de estudio mencionados anteriormente. Además, cuentan con sus respectivas estructuras metálicas con una altura de 2 metros en donde se encuentra el panel utilizado para dar energía al sistema (Ver Figura 34).

Figura 34. Nodos sensores sobre estructuras metálicas.
Fuente propia

4.4 Gateway

4.4.1 Implementación del Gateway

El circuito realizado para el Gateway es más sencillo (Figura 35), este consta de un módulo de radio frecuencia para la recepción de datos y del microcontrolador para la conexión por wifi.

Figura 35. Implementación del Gateway
Fuente propia

Este módulo se ubicó en un punto estratégico del área de trabajo. Primero que todo se debía buscar una zona con cobertura a internet para poder realizar el envío y la conexión a la base de datos de la nube; luego, posicionarlo a una altura considerable para que así se pudiera aumentar el rango o el alcance de la transmisión de los datos mediante los módulos de radiofrecuencia y evitar obstáculos que pudieran influir en la pérdida de información.

4.5 Actuador

4.5.1 Diseño del actuador

Para el nodo actuador se tuvo en cuenta que ya existe un sistema de riego con su respectiva automatización el cual utiliza los mismos dispositivos. Para lo cual, se planteó e implementó un diseño que se pudiera acoplar fácilmente y al mismo tiempo independizar las operaciones para evitar

que estas se interrumpan entre sí. Por último, el sistema propuesto puede disponer de la motobomba cuando lo requiera, así mismo habilitar las electroválvulas que tenga a su disposición.

Para el caso en que los dos sistemas de control (el desarrollado en el presente proyecto y el ya instalado previamente) requieran del uso de la motobomba de manera simultánea, no habrá conflicto puesto que, si al finalizar un proceso el otro no lo ha hecho, la bomba electromotriz puede continuar encendida gracias a que se encuentran independizados.

Para este nodo se requiere de dos etapas, la primera es la de baja potencia en la cual se tiene el módulo de radiofrecuencia LoRa conectado al microcontrolador ESP32, este habilita la conmutación por medio de unos relés de estado sólido a la etapa de potencial.

El funcionamiento del software de este dispositivo se muestra a continuación:

- ✓ Inicialmente se crean las tareas de recepción de LoRa y encendido del actuador.
- ✓ La tarea de recepción de LoRa atentamente espera el dato proveniente de los nodos recolectores de datos.
- ✓ Al llegar un dato lo desempaqueta y analiza el valor recibido, en caso de alcanzar el umbral de la humedad del suelo para el cual se ha definido que se debe regar procede a hacerlo habilitando la electroválvula y posteriormente la motobomba durante 15 minutos.

4.5.2 Implementación del actuador

En la Figura 36 y Figura 37, se visualizan las dos etapas descritas anteriormente en este: La de baja potencia o receptora, y la de alta potencia, respectivamente.

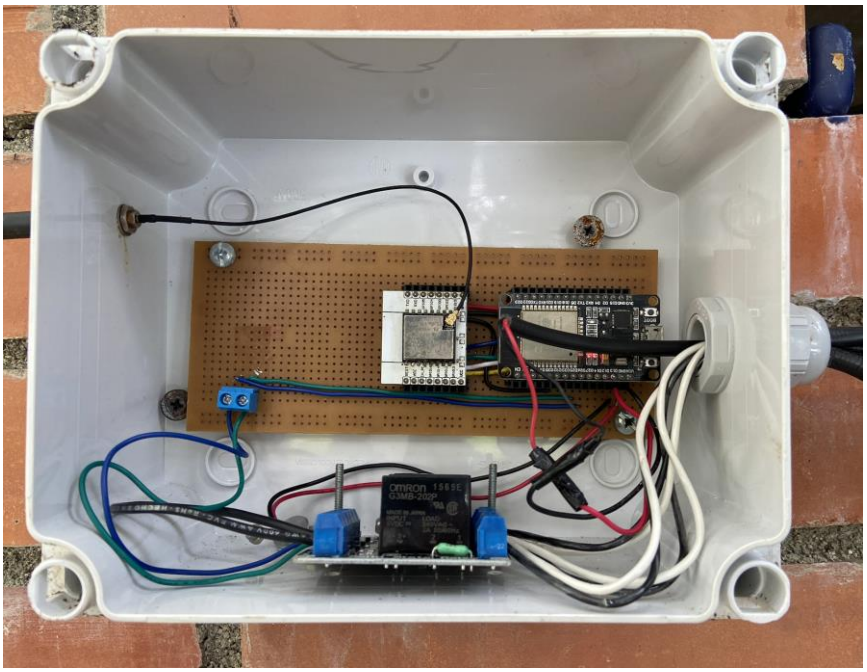

Figura 36. Etapa de baja potencia nodo actuador
Fuente propia

Figura 37. Etapa de alta potencia nodo actuador.
Fuente propia

4.6 Base de datos Ubidots

Se creó una cuenta para el desarrollo del presente proyecto. Además, siguiendo con la arquitectura de los datos que presenta la página, se especificó el nombre del device el cual también sirve para la suscripción al topic del protocolo MQTT (ver Figura 38).

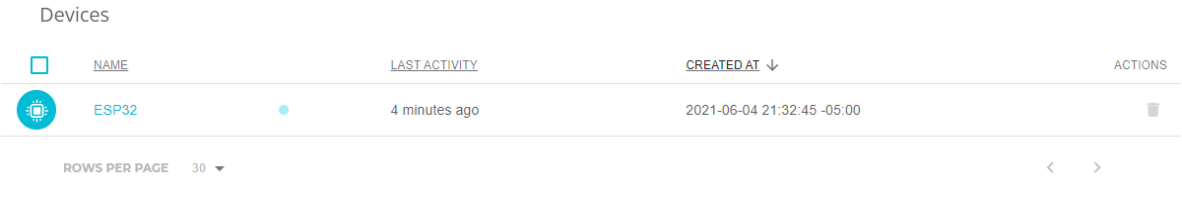

Figura 38. Lista de devices en Ubidots.
Fuente propia

Posterior a esto, se crean las variables a visualizar en la interfaz gráfica, entre ellas se tiene el nodo del que proviene el dato (id), la humedad del suelo, temperatura, humedad relativa, hora en la que fue realizada la lectura, minutos y segundos (Figura 39).

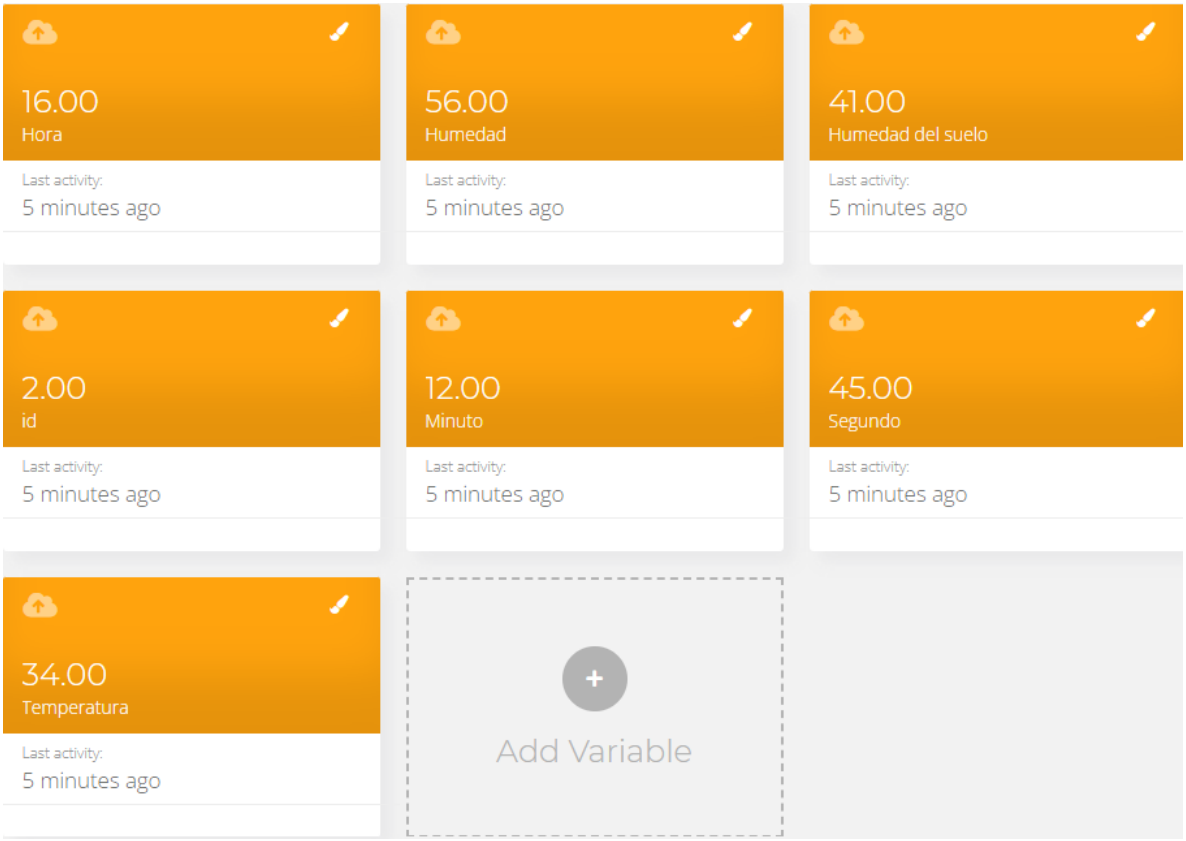

Figura 39. Variables del device en Ubidots.
Fuente propia

Por último, se configura un dashboard en el que mediante los diferentes plugin visuales que ofrece la plataforma, se logran ver los datos de una forma muy interactiva y atractiva, tal y como se ilustra en las Figura 40, Figura 41 y Figura 42.

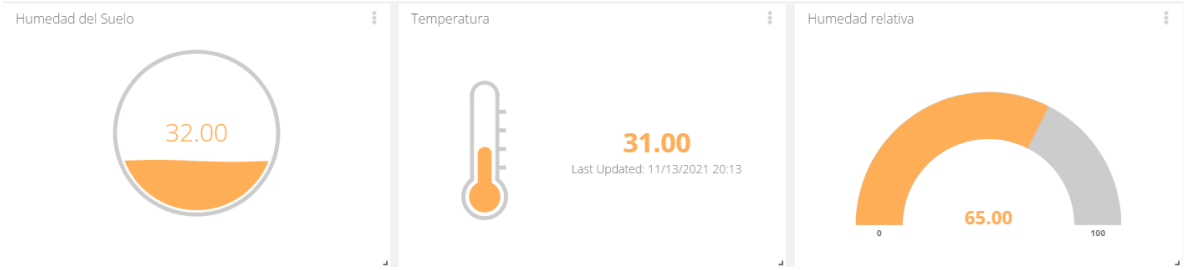

Figura 40. Plugins visuales en Ubidots.
Fuente propia

Values Table

DATE	NODO	HUMEDAD DEL SUELO (%)	TEMPERATURA (°C)	HORA (24H)	MINUTO	SEGUNDO
11/15/2021 16:08	2.00	42.00	34.00	16.00	22.00	45.00
11/15/2021 16:03	1.00	29.00	37.00	16.00	19.00	16.00
11/15/2021 15:58	2.00	41.00	34.00	16.00	12.00	45.00
11/15/2021 15:53	1.00	29.00	37.00	16.00	9.00	15.00
11/15/2021 15:48	2.00	41.00	34.00	16.00	2.00	44.00
11/15/2021 15:43	1.00	29.00	38.00	15.00	59.00	15.00
11/15/2021 15:39	0.00	41.00	35.00	15.00	52.00	44.00
11/15/2021 15:38	2.00	41.00	35.00	15.00	52.00	44.00
11/15/2021 15:33	1.00	29.00	38.00	15.00	49.00	15.00
11/15/2021 15:28	2.00	41.00	35.00	15.00	42.00	43.00

Figura 41. Tabla de los datos recibidos en Ubidots.
Fuente propia

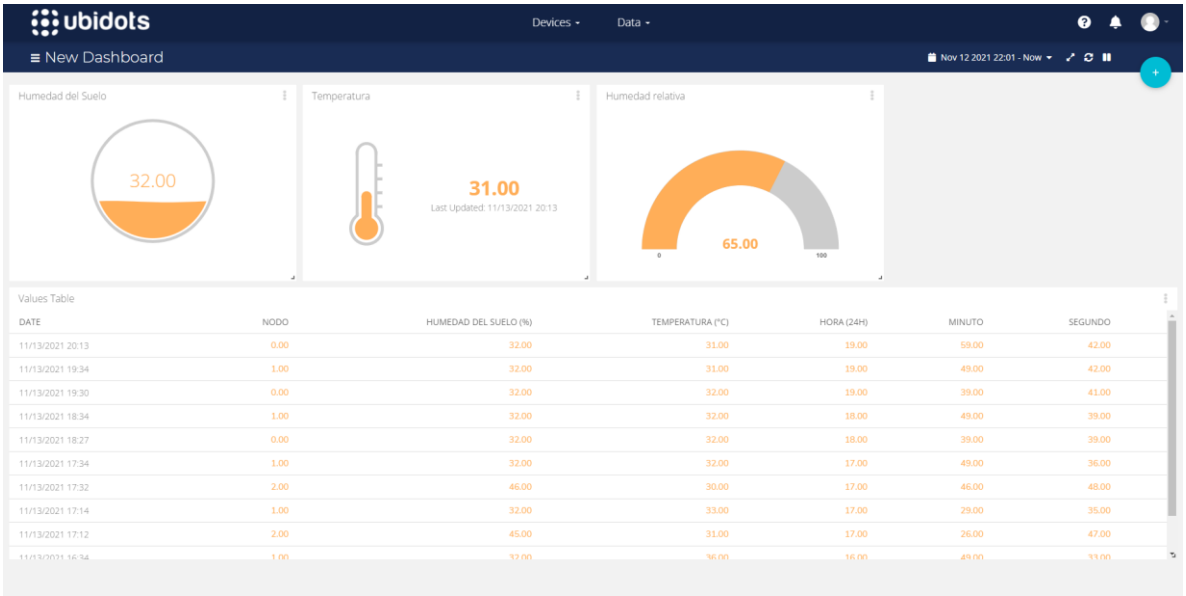

Figura 42. Vista general del dashboard en Ubidots.
Fuente propia

4.7 Discusión de resultados

Uno de los principales motivos del desarrollo del presente proyecto es el poder desarrollar un prototipo de sistema autónomo para al accionar de un sistema de riego que va a suplir las necesidades requeridas. Por ejemplo, en el campo de la agricultura los diferentes cultivos y alimentos requieren de un terreno que cumpla con ciertas características para poder tener un buen fruto o cosecha. Así

también para el cuidado de zonas verdes dentro de la institución educativa y tener un entorno mucho más ameno.

Con el fin de establecer el comportamiento de los valores de la humedad del suelo y temperatura, se realizó un análisis de forma semanal de los datos obtenidos en los dos terrenos estudiados.

Para determinar el comportamiento se hizo de acuerdo con las medidas de tendencia central (media y mediana) que permitieron determinar que tanta dispersión existe entre el conjunto de datos encontrados. Esto se realizó gráficamente por medio de boxplot.

Las semanas que fueron tenidas en cuenta son las correspondientes al mes de noviembre del 2021, estas fueron categorizadas de la siguiente forma:

- Semana 1: del 1 de noviembre al 7 de noviembre.
- Semana 2: del 8 de noviembre al 14 de noviembre.
- Semana 3: del 15 de noviembre al 21 de noviembre.
- Semana 4: del 22 de noviembre al 30 de noviembre.

- **Humedad del suelo**

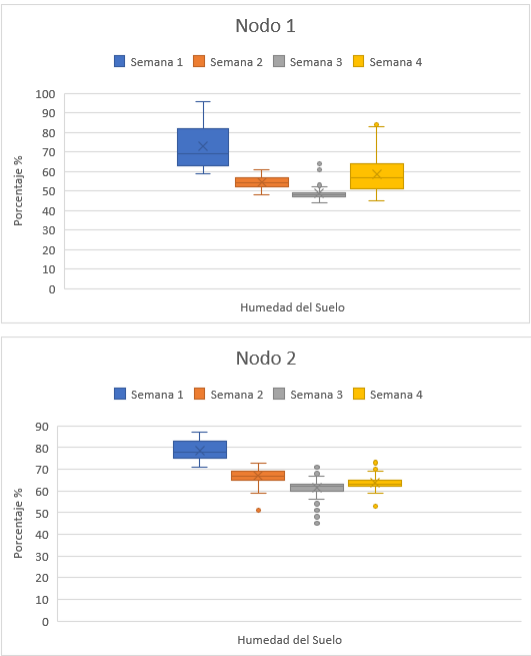

Figura 43. Boxplot humedad del suelo.
Fuente propia

- **Temperatura**

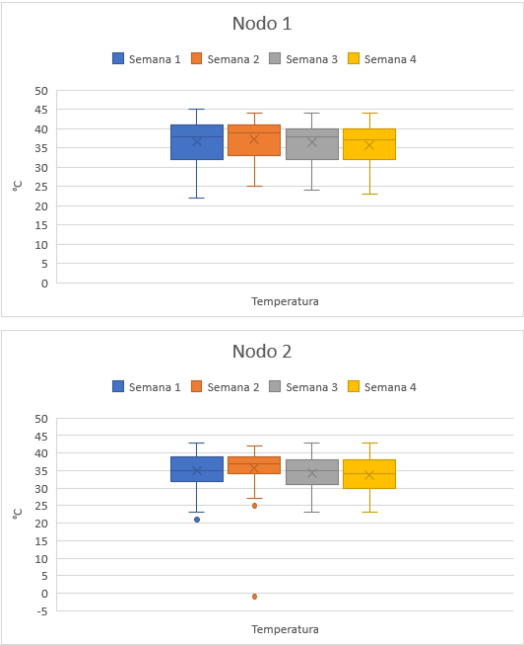

Figura 44. Boxplot temperatura.
Fuente propia

- **Humedad relativa**

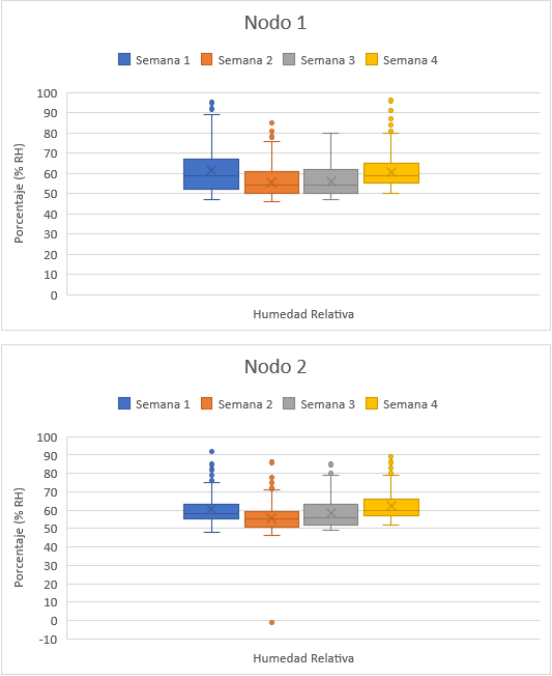

Figura 45. Boxplot humedad relativa.
Fuente propia

En la Figura 43 se evidencia que en la semana 1 durante los primeros días del mes de noviembre, se presentaron fuertes lluvias sobre el terreno de estudio, es por esto por lo que en la humedad del suelo se presenta una gran acumulación de datos por encima del 70% para ambos nodos.

Para la semana 2, la tendencia indica una disminución en el nivel promedio del valor de la variable, se observa que para esta semana una poca dispersión de los valores obtenidos manteniéndose estables en el valor promedio.

Así mismo, en la semana 3 existen datos atípicos los cuales pueden deberse a presencia de lluvias en el terreno afectando así el control de la variable. En la semana 4, los datos están un poco más dispersos, sin embargo, solamente se evidencia un dato atípico.

Para el nodo 2, se observa un comportamiento similar al del nodo 1 en el que el valor promedio de la semana es superior a las demás semanas, para luego comenzar a normalizarse en el un valor promedio, también en la semana 3 y 4 se observan valores atípicos sin perder así la tendencia de los datos.

Por otro lado, en la Figura 44 y Figura 45, la temperatura y humedad relativa son muy similares en ambas zonas, esta da una muestra de que el área de trabajo cuenta con estas características muy similares entre sí y que no tienen una gran injerencia en la diferencia del comportamiento de la humedad del suelo.

Ahora se realizará la misma evaluación mediante una comparativa con los datos recolectados en el mes de diciembre, siendo este un mes consecutivo al anterior y poder apreciar el continuo comportamiento de las variables de estudio.

- **Humedad del suelo**

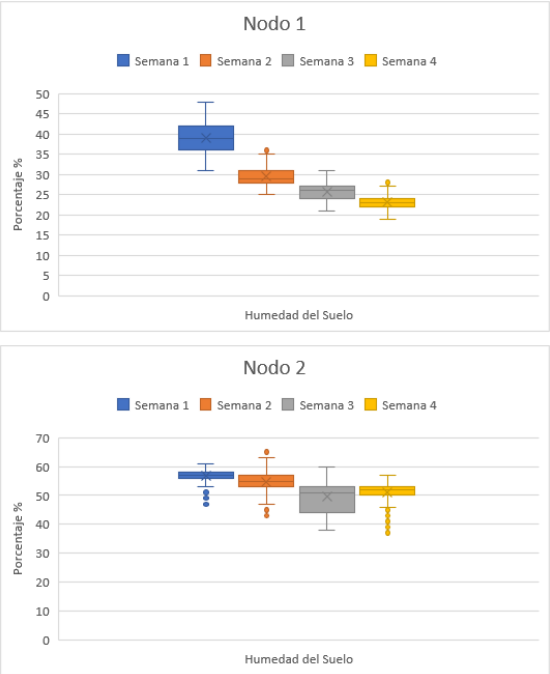

Figura 46. Boxplot Humedad del suelo (diciembre).
Fuente propia

- **Temperatura**

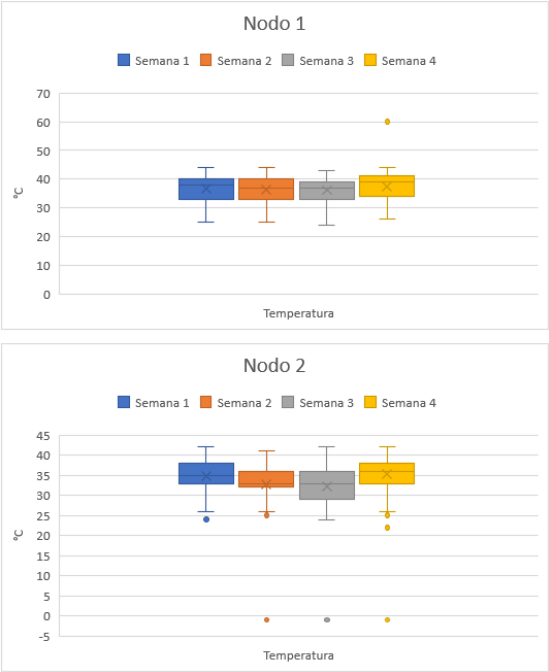

Figura 47. Boxplot temperatura(diciembre).
Fuente propia

- **Humedad Relativa**

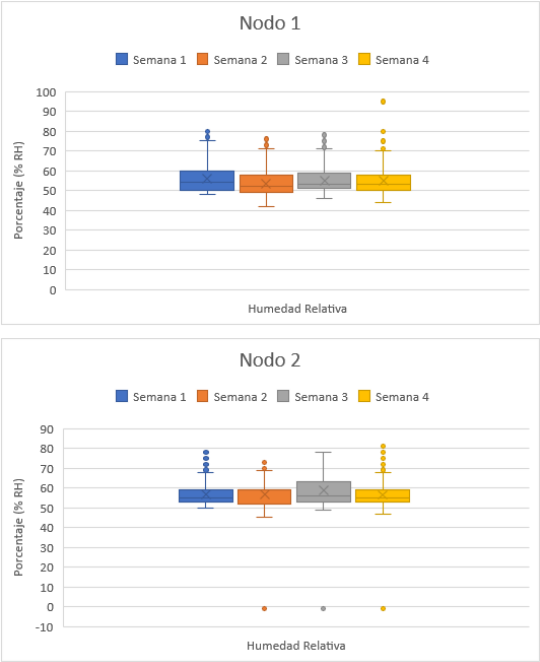

Figura 48. Boxplot Humedad relativa (diciembre).
Fuente propia

Como era de esperarse, en la Figura 46 la humedad del suelo en el nodo 1 sigue disminuyendo de manera paulatina con el transcurso de las semanas hasta llegar a estabilizarse en el porcentaje deseado. En el nodo 2 disminuye igualmente, pero se sigue practicando el riego tradicional como se venía trabajando. Ahora como se puede ver en la Figura 47 el comportamiento de la temperatura, su distribución de datos comienza a despegarse de la línea de los 30°C y acercarse un poco más a las 40°C, registrando así altas temperaturas en un periodo donde las lluvias ya habían cesado. En la Figura 48, para el caso de la humedad relativa, la distribución de sus datos no varía mucho entre ambos nodos se mantiene entre un 50% y 60% a lo largo del mes teniendo un comportamiento mucho más homogéneo y estable comparado con los resultados vistos en el mes anterior.

En términos generales se puede inferir que el control del riego se puede establecer acorde a los parámetros ambientales deseados de tal forma que ya no se vaya a sobresaturar el suelo con una abundante agua y mucho menos generando desperdicios de este recurso en una ciudad que afronta problemáticas de este tipo.

5 Conclusiones

Uno de los principales motivos por el cual se implementó el presente proyecto es poder lograr el control del riego en el terreno según las variables de estudio y acorde a las necesidades, ya sea para la práctica de plantación de diferentes alimentos, o para generar zonas verdes y así tener un área que sea amigable visualmente para los visitantes. Además, es una implementación que puede adaptarse a diferentes necesidades mediante el uso de los sensores adecuados. Por ejemplo, los cultivos de papa o de yuca o de algún otro tipo de planta, se caracterizan porque cada uno de ellos debe tener un cuidado particular y cumplir con ciertas especificaciones que pueden pasar por la humedad del suelo o la temperatura en la que se encuentran. Con el uso adecuado de este sistema, se puede suplir esa necesidad del riego en los momentos más pertinentes de forma automatizada y así poderlo extender a diferentes tipos de situaciones similares con sus variables ambientales específicas como puede ser el pH del terreno, filtración del agua, etc.

Otro aspecto importante que se abordó fue la optimización del uso de los recursos disponibles al entrar en detalle con las diferencias en las distribuciones de la humedad del suelo en los diferentes nodos. Aunque no se tenga una medida acerca de cuanta energía se consumió o cuanto liquido era necesario para el riego, en las gráficas se evidencia que no se estuvo regando de la misma manera en el nodo 1 (controlado) a comparación del nodo 2 en donde se realizaba diariamente sin importar los parámetros ambientales. Esa disparidad se puede ver en los dos meses usados como referencia para la medición y que, de acuerdo con las lecturas de temperatura y humedad relativa, las dos áreas utilizadas se encontraban en condiciones muy similares.

6 Bibliografía

[1] J. Parada and J. Carrillo, “Automatización de sistemas de riego: estrategias de control a través de dispositivos móviles,” *Renovat: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, vol. 0, no. 1, pp. 138–160, 2016, [Online]. Available: http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/513/557

[2] B. N. Getu and H. A. Attia, "Automatic control of agricultural pumps based on soil moisture sensing," AFRICON 2015, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/AFRCON.2015.7332052.

[3] F. A. Calle Zambrano and J. X. Gaibor Vistin, “Automatización De Un Sistema De Riego Con Monitoreo Local Usando Una Touch Y Control Remoto Inalámbrico Via Gsm (Arduino Open Source) Para El Mejoramiento Dentro Del Campo Agrícola En Asofrut De La Ciudad De Ambato,” p. 98, 2017, [Online]. Available: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7641/1/85T00466.pdf

[4] B. N. Getu and H. A. Attia, “Automatic control of agricultural pumps based on soil moisture sensing,” *IEEE AFRICON Conference*, vol. 2015-Novem, 2015, doi: 10.1109/AFRCON.2015.7332052.

[5] C. Silva, J. Antonio, J. Antonio, and C. Silva, “Sistema de riego autónomo basado en la Internet de las Cosas,” 2016, [Online]. Available: http://reunir.unir.net/handle/123456789/3648

[6] L. D. J. Velasco Estrada, Z. M. Cruz Sánchez, E. Y. Sarmiento Martínez, and B. Díaz Fonseca, “Optimización de riego mediante el uso de energía Solar,” *Revista de Ciencias de la UNICACH*, vol. 11, no. 11, pp. 81–84, 2017.

[7] E. Alomoto and J. Ramírez, “Diseño y construccion de un prototipo de sistema de riego automatizado para la granja experimental nono de la UDLA,” p. 110, 2016, [Online]. Available: http://200.24.220.94/bitstream/33000/6179/4/UDLA-EC-TIRT-2016-36.pdf

[8] D. Peluffo, J. Antonio, C. Silva, J. Ivan-rios, and J. A. Castro-silva, “Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT) Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT),” no. April, 2017.

[9] M. Usha Rani and S. Kamalesh, “Web based service to monitor automatic irrigation system for the agriculture field using sensors,” *2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering, ICAEE 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICAEE.2014.6838569.

[10] M. Servín Palestina, L. Tijerina Chávez, G. Medina García, O. Palacios Velez, and H. Flores Magdaleno, “Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real,” *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, no. 2, p. 423, 2017, doi: 10.29312/remexca.v8i2.61.

[11] D. Basu and S. Ghosh, “Smart Farming using IoT using solar panel,” *Alliedelec*, pp. 278–280, 2016, [Online]. Available: https://alliedelec.co.in/smart-farming-iot/

[12] T. D. E. Ampliaci and D. E. Redes, “Redes de sensores inalámbricas,” *Journal of Pediatric and Adolescent Gynecology*, vol. 24, no. 6, pp. 404–9, 2007, [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22187499

[13] N. C. Diana Castro, L. F. Eduardo Chamorro, and C. M. Andrés Viteri, “Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado A wireless sensor network for drip irrigation control and automation,” *Rev. Cienc. Agr*, vol. 33, no. 331, pp. 106–116, 2016, [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.57.

[14] V. del R. Ochoa López *et al.*, “Propuesta de un sistema para optimizar el riego en invernaderos de plantas heterogéneas usando WNS y algoritmos evolutivos,” *Research in Computing Science*, vol. 113, no. 1, pp. 131–145, 2016, doi: 10.13053/rcs-113-1-10.

[15] “Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano,” *Tecnura*, vol. 17, no. 2, pp. 33–47, 2013, doi: 10.14483/22487638.7221.

[16] M. Hussain, S. P. Gawate, P. S. Prasad, and P. A. Kamble, “Smart irrigation system with three level access mechanisms,” *4th IEEE Sponsored International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2015*, pp. 269–275, 2015, doi: 10.1109/ICCPEIC.2015.7259474.

[17] J. Saucedo García, “Diseño De Un Cargador De Bateria Li-Ion Para Obtener La Maxima Potencia De Un Panel Solar,” pp. 1–70, 2010, [Online]. Available: http://www2.uacj.mx/IIT/IEC/Digitales/PROYECTOS/Documentos_junio_2010/DISENO DE UN CARGADOR DE BATERIA LI-ION PARA OBTENER LA MAXIMA POTENCIA DE UN PANEL SOLAR.pdf

[18] R. Barry, “USING THE FREERTOS REAL TIME KERNEL A Practical Guide,” 2009.

[19] I. Latin and A. Transactions, “MQTT Protocol: Fundamentals, Tools and Future Directions,” 2019.

[20] S. V. Parra and A. León Fernández, “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN IOT CON ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE DATOS EN LA NUBE MEDIANTE EL PROTOCOLO MQTT.” [Online]. Available: www.etsit.upv.es

[21] Ubidots, [En línea]. Available: https://ubidots.com/docs/hw/?language=Bash#introduction. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].