



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO
INTELIGENTE PARA JARDINES URBANOS BASADO EN
TECNOLOGÍAS IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Tommy Ariel López Mero
Diego Andres Ramos Guerrero
TUTOR: Ing. Nino Tello Vega Ureta, M.sc

Guayaquil - Ecuador
2025

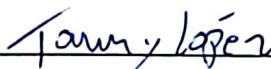
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Tommy Ariel López Mero con documento de identificación N° 1313557942 y Diego Andrés Ramos Guerrero con documento de identificación N° 0951466093; manifestamos que:

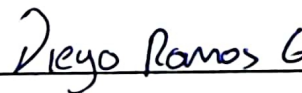
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 07 de febrero del año 2025

Atentamente,



Tommy Ariel López Mero
1313557942



Diego Andrés Ramos Guerrero
0951466093

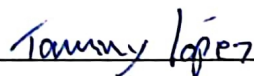
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Tommy Ariel López Mero** con documento de identificación N° 1313557942 y **Diego Andrés Ramos Guerrero** con documento de identificación N° 0951466093, 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 **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE PARA JARDINES URBANOS BASADO EN TECNOLOGÍAS IOT**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

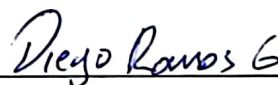
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de febrero del año 2025

Atentamente,



Tommy Ariel López Mero
1313557942



Diego Andrés Ramos Guerrero
0951466093

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nino Tello Vega Ureta, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO INTE-LIGENTE PARA JARDINES URBANOS BASADO EN TECNOLOGÍAS IOT**, realizado por Tommy Ariel López Mero con documento de identificación N° 1313557942 y Diego Andrés Ramos Guerrero con documento de identificación N° 0951466093, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. Nino Tello Vega Ureta, M.sc
080160216-0

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios y mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, Alexandra y Jimmy, por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho para que yo pudiera llegar hasta aquí. Sus enseñanzas y ejemplo han sido mi mayor motivación. A mis hermanos y mis mascotas Connie y Medusa, por su compañía, aliento y apoyo incondicional, incluso en los momentos más difíciles. Este logro es tan mío como de ustedes.

Tommy Ariel López Mero

A mis padres, por su amor y sacrificio. A mis hijas, por ser mi mayor fuente de inspiración y alegría. A mi esposa, por demostrarme que el amor no es frágil. A mis queridos hermanos, por su aliento y motivación, demostrándome que a pesar de las adversidades siempre hay que seguir adelante. A mis abuelos, por su sabiduría y ejemplo, y sobre todo a Dios. Este logro es para todos ustedes.

Diego Andres Ramos Guerrero

AGRADECIMIENTO

La realización de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo y contribución de muchas personas, a quienes quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Nino Tello Vega Ureta, su paciencia y su confianza en mi trabajo. Sus consejos y su experiencia han sido fundamentales para llevar a buen puerto esta investigación. Finalmente, a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia infinita y por creer en mí en todo momento. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. A todos, mi más profundo agradecimiento. Este logro es también suyo.

Tommy Ariel López Mero

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Nino Tello Vega Ureta, por su invaluable guía, apoyo y paciencia a lo largo de este proyecto. Su experiencia y conocimiento han sido esenciales para la realización de esta investigación. Sus enseñanzas y consejos han sido de gran valor, y su apoyo ha sido esencial para lograr los objetivos propuestos. A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante durante toda mi vida académica. Sin su sacrificio y aliento, este logro no habría sido posible. A mis amigos y compañeros de clase, por su apoyo emocional y por compartir conmigo innumerables momentos de alegría y aprendizaje. Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y al cantón Santa Lucía por proporcionarme los recursos necesarios y un entorno estimulante para llevar a cabo este proyecto. También, a todos los profesores que, directa o indirectamente, contribuyeron a mi formación profesional.

Diego Andres Ramos Guerrero

I. RESUMEN

Esta tesis presenta el diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para jardines urbanos, basado en tecnologías IoT. El sistema emplea sensores avanzados de temperatura y humedad del suelo para monitorear las condiciones ambientales en tiempo real y ajustar automáticamente el riego de acuerdo con las necesidades específicas de agua. La integración de tecnologías IoT permite que los datos recolectados sean analizados y utilizados para optimizar la gestión del riego, reduciendo significativamente el consumo y desperdicio de agua.

A través de una aplicación móvil, los usuarios pueden supervisar y controlar remotamente el sistema, configurando parámetros personalizados. El sistema fue probado en un prototipo funcional, evidenciando su capacidad para operar de manera autónoma y eficiente.

El enfoque automatizado de este sistema, junto con su flexibilidad y escalabilidad, lo hace adaptable a diferentes contextos urbanos. Además, su implementación puede contribuir a la conservación del agua y al desarrollo de entornos urbanos más sostenibles, promoviendo un manejo responsable de los recursos naturales en las ciudades.

Palabras clave: riego inteligente, jardines urbanos, IoT, sensores avanzados, ahorro de agua, sostenibilidad, automatización.

II. ABSTRACT

This thesis presents the design and implementation of an intelligent irrigation system for urban gardens based on Internet of Things (IoT) technologies. The system utilizes soil moisture and temperature sensors to monitor environmental conditions in real-time, automatically adjusting irrigation based on the plants' water needs. Through a mobile application, users can remotely control the system, optimizing water usage and reducing waste. The system was tested in a functional prototype, demonstrating efficient irrigation management, improving plant health, and promoting urban sustainability. This approach can be replicated in various cities, contributing to water conservation and the development of more sustainable urban environments.

Keywords: smart irrigation, urban gardens, IoT, advanced sensors, water savings, sustainability, automation.

ÍNDICE

I.	RESUMEN	7
II.	ABSTRACT	8
III.	INTRODUCCIÓN	1
IV.	PROBLEMA	2
V.	JUSTIFICACIÓN	3
VI.	OBJETIVOS	4
VI-A.	Objetivo general	4
VI-B.	Objetivos específicos	4
VII.	MARCO TEÓRICO	5
VII-A.	Sistemas de riego	5
VII-B.	Sistemas de riego en cultivos	5
VII-C.	Técnicas de riego inteligente	5
VII-D.	Riego por micro compuertas	6
VII-E.	Riego por goteo	6
VII-F.	Riego Inteligente	6
VII-G.	IoT en la agricultura de precisión	6
VII-H.	Sensores para el monitoreo del riego	7
VII-I.	Actuadores y control automatizado	7
VII-J.	Conectividad y comunicación	7
VII-K.	Plataformas en la nube y aplicaciones móviles	7
VII-L.	Impacto de IoT en el riego inteligente	8
VII-M.	Agricultura en el Ecuador y en el mundo	8
VII-N.	Impacto de la automatización en la eficiencia del riego	8
VII-Ñ.	Selección de componentes	8
VII-O.	Sensores de Humedad (CNT5)	9
VII-P.	Sensor de Humedad YL-100	10
VII-P1.	Dispositivos de Control	11
VII-Q.	Electroválvulas	11
VII-Q1.	Actuadores	12
VII-R.	Microcontrolador ESP32	12
VII-S.	Fuente de Voltaje	13
VII-T.	Sistema hidráulico	14
VII-T1.	Componentes del Sistema	14
VII-T2.	Programación del Microcontrolador	15
VII-T3.	Esquema Eléctrico	15
VII-U.	Hardware del Sistema IoT	16
VII-U1.	Integración de Componentes	16
VII-U2.	Evaluación de Conexiones	16
VII-V.	Evaluación del Hardware	16
VII-V1.	Evaluación Funcional	16
VII-V2.	Reducción del Desperdicio de Agua	16
VII-W.	Software del Sistema IoT	16
VII-W1.	Arquitectura de la Plataforma IoT	16

VII-W2.	Interfaz de Usuario (UI)	17
VII-W3.	Plataforma IoT	17
VIII.	MARCO METODOLÓGICO	18
IX.	Diseño y diagrama	18
IX-A.	Diseño esquemático del circuito electrónico	18
IX-B.	Diseño del sistema hidráulico	20
X.	Descripción del Sistema Hidráulico	21
X-A.	Funcionamiento del Sistema	22
X-B.	Beneficios del Diseño Hidráulico	22
X-C.	Diseño de los conectores en Fusion 360	23
X-C1.	Conector principal de entrada y salida de la Electroválvula	23
X-D.	Diseño de acople electroválvula	24
X-E.	Proceso de Impresión 3D de Conectores para Electroválvulas	24
XI.	Implementacion del sistema de riego Iot	27
XI-A.	Implementación de los componentes del sistema	27
XI-A1.	Fabricación de conectores mediante impresión 3D	27
XI-A2.	Ensamblaje de la caja de control	27
XI-A3.	Implementacion de Modelo de Datos en la Nube	29
XII.	Diseño de la Base de Datos del Sistema IoT	29
XII-A.	Estructura de la Base de Datos Realtime	29
XII-B.	Estructura de la Base de Datos Firestore	29
XII-B1.	Estructura Inicial de Firestore	29
XII-B2.	Subcolección de Datos	30
XII-B3.	Registro Específico de Datos	31
XII-C.	Integración y Funcionamiento General	32
XII-C1.	Implementacion de Mecanismos de seguridad	32
XII-D.	Desarrollo de la aplicación móvil	32
XII-D1.	Explicación de la Lógica del Sistema	33
XIII.	Pruebas de simulación	35
XIII-1.	Diseño de interfaz de usuario (UI)	35
XIII-A.	Pantalla de inicio aplicación móvil	36
XIII-B.	Pantalla de Sensores	36
XIII-C.	Pantalla de Modos	37
XIII-C1.	Modo Programable:	37
XIII-C2.	Modo Programable:	37
XIII-C3.	Modo Automático:	38
XIV.	Resultados	40
XIV-A.	Retroalimentación de sensor	40
XIV-B.	Resultados de la Implementación del Sistema de Riego Inteligente	41
XIV-C.	Condiciones Iniciales y Metodología de Evaluación	42
XIV-D.	Comparación de Resultados	42
XIV-E.	Impacto en el Consumo de Agua	43
XIV-F.	Pruebas en condiciones reales	46

XV. CRONOGRAMA	48
XVI. PRESUPUESTO	49
XVII. BIBLIOGRAFÍA	50
XVIII.CONCLUSIONES	52
XIX. RECOMENDACIONES	53
Anexo A: PLANO PROTEUS	54
Anexo B: PLANO FUSIÓN 360	55
Anexo C: CAJA DE CONTROL	56
Anexo D: CAJA DE CONTROL	57

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Técnicas de riego inteligente [5]	5
2.	Sensor de humedad CNT5 [22]	10
3.	Sensor de humedad YL100 [22]	10
4.	Electroválvula. Fuente:Autores	12
5.	Microcontrolador ESP32 [23]	13
6.	Fuente de Voltaje. Fuente:Autores	14
7.	Fuente de Voltaje. Fuente:Autores	15
8.	Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.	18
9.	Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.	19
10.	Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.	20
11.	sistema hidráulico . Fuente:Autores	21
12.	sistema hidráulico . Fuente:Autores	21
13.	Diseño de conectores Fuente:Autores	23
14.	Diseño de conectores. Fuente:Autores	23
15.	Diseño electroválvula y conector. Fuente:Autores	24
16.	Vista previa del G-code con la disposición de los conectores en la plataforma de impresión. Fuente:Autores	25
17.	Fabricación de conectores mediante impresión 3D. Fuente:Autores	26
18.	Diseño del sistema. Fuente:Autores	26
19.	Diseño del sistema. Fuente:Autores	27
20.	Montaje de electroválvula y conector. Fuente: Autores	27
21.	Montaje de electroválvula y conector. Fuente: Autores	27
22.	Ensamblaje de la caja de control del sistema de riego. Fuente: Autores	28
23.	Estructura inicial de la base de datos en Firestore. Fuente:Autores	30
24.	Subcolección Firestore. Fuente:Autores	31
25.	Documento específico dentro de la subcolección. Fuente:Autores	31
26.	Diseño de interfaz de usuario. Fuente: Autores	35
27.	Gráfico humedad y temperatura. Fuente: Autores	36
28.	Modos de pantalla. Fuente:Autores	38
29.	Modos de pantalla. Fuente:Autores	38
30.	Modos de pantalla. Fuente:Autores	39
31.	Modos de pantalla. Fuente:Autores	39
32.	Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores	40
33.	Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores	41
34.	Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores	41
35.	Comparacion del sistema. Fuente: Autores	42
36.	Comparacion del sistema. Fuente: Autores	43
37.	Inicio de la aplicación . Fuente: Autores	45
38.	Inicio de la aplicación . Fuente: Autores	46
39.	Datos en la nube . Fuente: Autores	47
40.	Diagrama Eléctrico, Proteus	54
41.	Plano conector, Autores: Autodesk Fusion360	55
42.	Caja de control	56
43.	Caja de control	57

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Comparación del estado del jardín antes y después del sistema de riego	44
II.	Tabla de cronograma	48
IV.	Presupuesto estimado de los componentes electrónicos y mecánicos	49

III. INTRODUCCIÓN

El diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para jardines urbanos basado en tecnologías IoT responde a la necesidad de optimizar el uso del agua y mejorar el mantenimiento de estos espacios verdes. Los jardines urbanos, además de embellecer las ciudades, juegan un papel crucial en la mejora de la calidad del aire, la biodiversidad y el bienestar de los habitantes. Sin embargo, el riego manual y los sistemas tradicionales a menudo resultan ineficientes, desperdiciando recursos y tiempo.

La implementación de sistemas de riego inteligentes basados en IoT ofrece una solución innovadora a este problema. Estos sistemas permiten un control preciso del riego, adaptándose a las necesidades específicas de cada planta y reduciendo el consumo de agua. Además, pueden operar de manera autónoma, ajustándose a las condiciones ambientales y garantizando un riego eficiente y sostenible.

Los sistemas de riego diseñados para jardines urbanos deben ser capaces de integrar tecnologías avanzadas y algoritmos de control para monitorear continuamente las condiciones del suelo y el ambiente, enviando datos al sistema de control para regular el flujo de agua de manera óptima. La incorporación de estas tecnologías es esencial para garantizar un rendimiento eficiente y fiable.

Este estudio se centra en el desarrollo y prueba de un sistema de riego inteligente específicamente diseñado para jardines urbanos. Se investigarán diversas soluciones de diseño para optimizar la eficiencia del riego, la durabilidad del sistema y la eficiencia energética. Además, se evaluará la capacidad del sistema para operar de manera autónoma o semiautónoma, permitiendo la supervisión y control remoto a través de aplicaciones móviles.

El propósito de este proyecto es no solo mejorar el riego de los jardines urbanos, sino también demostrar la viabilidad de aplicar tecnologías IoT en la gestión del agua. Al promover el uso de sistemas inteligentes en el mantenimiento de espacios verdes, se busca fomentar la innovación tecnológica y contribuir a la sostenibilidad y preservación de los ecosistemas urbanos.

IV. PROBLEMA

En los jardines urbanos de la ciudad de Guayaquil, El riego manual presenta una serie de retos importantes que impactan tanto a los individuos como al entorno natural. La falta de automatización en estos sistemas de riego implica una considerable inversión de tiempo por parte de los usuarios. Además, el ritmo acelerado de la vida moderna y los múltiples compromisos cotidianos dificultan que muchas personas puedan dedicar la atención necesaria al riego de sus plantas, resultando en prácticas irregulares e ineficientes. Esta ausencia de constancia no solo pone en riesgo el desarrollo y la salud de las plantas, sino que también provoca un consumo de agua desmedido e insostenible. Todo esto subraya la importancia de implementar soluciones automatizadas que optimicen el riego, aliviando así la carga de supervisión constante y contribuyendo a un mantenimiento más eficiente y ecológico de los jardines urbanos.

Además, esta falta de constancia genera un desgaste en quienes tienen la responsabilidad de mantener los jardines, quienes muchas veces se ven limitados por horarios o complicaciones personales. Este contexto evidencia una limitación importante en la capacidad de mantener las plantas en condiciones óptimas y de cuidar estos espacios verdes de manera sostenible.

El riego manual en jardines urbanos también trae consigo un considerable desperdicio de agua, un recurso especialmente valioso en el contexto de Guayaquil. Al no contar con un sistema automatizado, el riego manual a menudo lleva a prácticas poco eficientes, como el riego en horarios inadecuados o el uso excesivo de agua, lo que resulta en un consumo innecesario y costoso. Estas prácticas no solo elevan los gastos asociados al mantenimiento de los jardines, sino que también tienen un impacto ambiental negativo, debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos disponibles en la ciudad. Reducir este desperdicio es fundamental para garantizar un uso más racional y responsable del agua en entornos urbanos.

Finalmente, el riego manual irregular y el uso inadecuado de agua limitan el crecimiento y la floración de las plantas en los jardines urbanos. Para que las plantas logren su máximo potencial de crecimiento y exhiban una floración abundante, requieren un riego regulado y ajustado a sus requerimientos particulares, teniendo en cuenta elementos como la especie, la estación y las condiciones del entorno. Sin un sistema de riego que responda adecuadamente a estos requerimientos, las plantas pueden experimentar estrés hídrico o daños en sus raíces, lo cual afecta su desarrollo y la vitalidad del jardín en su conjunto.

V. JUSTIFICACIÓN

La puesta en marcha de un sistema inteligente de riego en los jardines urbanos de la ciudad de Guayaquil representa una solución innovadora y altamente eficiente a las problemáticas actuales del riego manual. Este tipo de tecnología permite un uso óptimo del agua, reduciendo considerablemente el derroche al modificar la cantidad de agua proporcionada de acuerdo a las demandas particulares de cada planta. De este modo, se contribuye a la conservación de un recurso natural vital, esto no solo favorece a las plantas, sino que también tiene un efecto beneficioso en el medio ambiente al fomentar un uso más consciente y sostenible del agua.

Un sistema de riego automatizado constituye una alternativa práctica y asequible para aquellos que, por la escasez de tiempo, no pueden encargarse del mantenimiento cotidiano de sus jardines. Con la automatización del proceso de riego, se elimina la necesidad de una supervisión constante, facilitando un mantenimiento eficiente y consistente sin depender de la intervención directa del usuario.

El uso de un sistema de riego inteligente no solo asegura la salud y la vida útil de las plantas, sino que también potencia su desarrollo y florecimiento. Al suministrar el volumen preciso de agua en el instante oportuno, las plantas pueden crecer en condiciones ideales, generando jardines más frondosos y visualmente atractivos. Este tipo de sistema también puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelo, haciendo posible su implementación en una amplia variedad de entornos urbanos. En resumen, un sistema de riego inteligente no solo resuelve las problemáticas actuales, sino que también ofrece múltiples beneficios, tanto para el usuario como para el entorno natural, convirtiéndose en una inversión valiosa para el futuro de los jardines urbanos en Guayaquil.

VI. OBJETIVOS

VI-A. *Objetivo general*

Desarrollar un sistema de riego inteligente para jardines urbanos mediante la integración de tecnologías IoT y sensores avanzados, reduciendo el consumo de agua, mejorando la salud de las plantas y reduciendo la intervención humana.

VI-B. *Objetivos específicos*

1. Desarrollar un sistema hidráulico integrado con circuitos eléctricos y electrónicos para el control inteligente y dosificado del agua.
2. Diseñar e implementar una plataforma IoT con una interfaz móvil que permita a los usuarios la supervisión y control de manera remota el sistema de riego.
3. Verificar la operación del sistema de riego a través del seguimiento IoT de las variables de humedad del terreno y temperatura del entorno.

VII. MARCO TEÓRICO

VII-A. *Sistemas de riego*

Un sistema de riego es un conjunto de componentes organizados que se interrelacionan para garantizar una provisión constante y eficiente de agua a las parcelas, suministrando la cantidad adecuada en el momento oportuno para alcanzar un objetivo específico [1]. Para su implementación, es esencial un diseño agronómico que considere las propiedades del terreno, los cultivos, las distancias de plantación y otros factores relevantes.

Un sistema de riego eficiente asegura que el agua requerida llegue al cultivo en el instante preciso, humedeciendo el suelo hasta la profundidad necesaria. Estos sistemas ofrecen múltiples beneficios, como la optimización en el uso del agua mediante tuberías de riego, reduciendo el desperdicio y aumentando la eficiencia hídrica.

Los avances tecnológicos actuales han introducido herramientas innovadoras y fáciles de aplicar para la gestión automática de sistemas de riego. Estas tecnologías permiten un ahorro significativo en recursos hídricos, inversión, tiempo y mano de obra [2]. Además, algunos sistemas no solo riegan, sino que también fertilizan o aportan nutrientes y minerales a los cultivos de manera automatizada. Esto facilita el trabajo del productor y representa un importante avance para la industria agrícola, promoviendo una agricultura más sostenible y eficiente.

VII-B. *Sistemas de riego en cultivos*

Los sistemas de riego automatizados se han convertido en un recurso esencial y un gran aliado para la agricultura moderna. Estos sistemas representan una tecnología en constante evolución, que, gracias a recientes avances e innovaciones, permite alcanzar un uso más eficiente de los recursos hídricos.

Actualmente, existen diversas tecnologías aplicadas a los sistemas de riego en cultivos, como el uso de plataformas basadas en Arduino, tecnologías IoT (Internet de las cosas) e incluso inteligencia artificial (IA), las cuales potencian la precisión y efectividad del riego [3]. Estas soluciones tecnológicas contribuyen a optimizar los procesos agrícolas, promoviendo la sostenibilidad y mejorando la productividad de los cultivos.

VII-C. *Técnicas de riego inteligente*

Los sistemas de riego por aspersión, ampliamente utilizados en diversos cultivos, operan mediante cabezales de aspersión que funcionan bajo presión, produciendo gotas de agua similares a la lluvia [4]. Este proceso se logra gracias a la presión del agua que circula a través de las tuberías y, al llegar a los aspersores, se descarga al exterior en forma de lluvia artificial. Como se muestra en la figura. 1



Figura 1. Técnicas de riego inteligente [5]
[5]

La presión necesaria para este sistema se genera mediante una bomba hidráulica instalada en el punto de toma de agua, ya sea un pozo, canal o tanque. [6] Sin embargo, en ciertos casos, el sistema puede funcionar sin bomba si la fuente de agua está ubicada en un nivel más alto que el terreno que requiere riego, aprovechando la gravedad para generar la presión necesaria.

VII-D. Riego por micro compuertas

El riego por micro compuertas, también conocido como microgoteo, es una versión tecnológicamente avanzada del riego por gravedad. Este sistema emplea tuberías para canalizar y distribuir el agua directamente a las acequias de cultivo, reduciendo las pérdidas en canales y tanques de riego, y aumentando significativamente la eficiencia del riego.

Aunque se trata de un sistema sencillo, existen factores importantes que deben considerarse, como la permeabilidad del suelo, la evaporación y la tasa de circulación del agua. Según [4], el agua circula a través del sistema de tuberías siguiendo la pendiente natural del terreno, conocida como "lpeso". Este sistema está compuesto por tuberías, válvulas y conexiones, lo que lo hace flexible, fácil de instalar y adecuado para diversos entornos agrícolas.

VII-E. Riego por goteo

El sistema de riego por goteo es una técnica eficiente que permite reducir significativamente el uso de agua al suministrar el recurso directamente a la base de las plantas. Este método minimiza el contacto del agua con las hojas, tallos y frutos, lo que ayuda a prevenir la aparición de enfermedades en los cultivos [7]. Además, un programa de riego adecuado, diseñado para satisfacer las necesidades específicas de las plantas, puede mejorar tanto el rendimiento como la calidad de los cultivos, haciendo del riego por goteo una opción ideal para la agricultura sostenible.

VII-F. Riego Inteligente

La agricultura es un pilar fundamental de la economía mundial, y la tecnología, en constante evolución, permite automatizar diversas actividades agrícolas. Un ejemplo claro de esta automatización son los sistemas de riego inteligentes, que pueden ser controlados mediante el uso de sensores avanzados. Según [8], las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se emplean para optimizar recursos clave como el agua, la mano de obra y el tiempo. Por su parte, [4] destaca que las decisiones de estos sistemas de riego se basan en la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos. Sensores como los de nivel de humedad en el suelo, temperatura del ambiente y humedad relativa del aire permiten monitorizar de manera efectiva las condiciones necesarias para el riego en entornos como los invernaderos, asegurando una gestión eficiente y precisa del recurso hídrico.

VII-G. IoT en la agricultura de precisión

El Internet de las cosas (IoT) es una red que conecta diversos dispositivos, como sensores y actuadores, a través de redes eléctricas o inalámbricas. [9] Estos dispositivos pueden recolectar información de forma autónoma y ajustarse de manera inteligente a los cambios en el entorno físico, convirtiéndose en actores activos en múltiples procesos, ya sean públicos, comerciales, científicos o personales.

El IoT se basa en la integración de sensores, redes y dispositivos finales, con el propósito principal de proporcionar a los usuarios representaciones de datos visuales, comprensibles y prácticas. [10] En el ámbito agrícola, el IoT trasciende el uso de dispositivos móviles como tabletas o drones, e incluye sistemas interconectados como sensores de suelo, cámaras, estaciones meteorológicas y sistemas de iluminación. Estos elementos trabajan de manera colaborativa, recolectando y compartiendo datos en tiempo real, lo que permite tomar decisiones más informadas y optimizar los recursos en la agricultura de precisión.

VII-H. Sensores para el monitoreo del riego

Los sensores desempeñan un papel fundamental en los sistemas de riego inteligentes, ya que permiten recopilar información en tiempo real sobre las condiciones ambientales, lo que mejora la precisión y eficiencia del riego [11]. Los sensores de humedad del suelo son especialmente importantes, ya que miden la cantidad de agua disponible en el terreno. Esto ayuda a prevenir tanto el exceso de riego, que puede causar saturación y problemas de drenaje, como la falta de agua, que afecta el desarrollo saludable de las plantas.

Por otro lado, los sensores de temperatura y humedad ambiental monitorean las condiciones climáticas y ayudan a ajustar la frecuencia y duración del riego, teniendo en cuenta factores como la evaporación y la transpiración de las plantas. [12] Al integrar estos datos, los sistemas de riego pueden optimizar el uso de recursos hídricos y reducir el desperdicio, al mismo tiempo que garantizan que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua según las condiciones climáticas y del suelo.

Además, estos sensores pueden trabajar en conjunto con plataformas IoT y algoritmos inteligentes, permitiendo a los agricultores supervisar y controlar el riego de manera remota, tomar decisiones basadas en datos precisos y actualizados. Este enfoque promueve la sostenibilidad en el manejo del agua.

VII-I. Actuadores y control automatizado

Los actuadores, tales como las electroválvulas y las bombas de agua, son componentes esenciales que ejecutan las acciones definidas por el sistema de control. Estos dispositivos permiten la activación o desactivación de la recolección de agua de manera computarizada. Gracias a este control automatizado, se logra una distribución uniforme y dosificada del agua, adaptándose a las necesidades específicas de cada sector del jardín. [13] Este enfoque no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también asegura que cada planta reciba la cantidad adecuada de agua, promoviendo un crecimiento saludable y eficiente. Además, la automatización reduce la intervención manual, permitiendo un mantenimiento más sencillo y eficiente del jardín.

VII-J. Conectividad y comunicación

La tecnología IoT utiliza protocolos de comunicación como Wi-Fi y MQTT para interconectar sensores y actuadores con plataformas en la nube. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo de mensajería ligero diseñado para la comunicación máquina a máquina (M2M) y es especialmente útil en aplicaciones de IoT. [14] Este protocolo sigue un modelo de publicación/suscripción, lo que permite que los dispositivos se comuniquen de manera eficiente incluso en redes con ancho de banda limitado o alta latencia. Algunas características clave de MQTT incluyen su ligereza y eficiencia, comunicación bidireccional, escalabilidad, fiabilidad en la entrega de mensajes, soporte para redes no confiables y seguridad. Estos sistemas permiten no solo el monitoreo remoto, sino también el análisis y almacenamiento de datos históricos, lo que mejora significativamente la toma de decisiones. [15] La capacidad de recopilar y procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real facilita la identificación de patrones y tendencias, optimizando así el rendimiento del sistema de riego.

VII-K. Plataformas en la nube y aplicaciones móviles

Las plataformas en la nube, como Firestore, gestionan los datos recolectados por los sensores, permitiendo su acceso desde aplicaciones móviles. Estas interfaces ofrecen al usuario la capacidad de supervisar el sistema en tiempo real, recibir notificaciones sobre posibles fallos o alertas, y ajustar parámetros de riego de forma manual o programada. [16] Además, las aplicaciones móviles proporcionan una interfaz intuitiva y accesible, facilitando la gestión del sistema desde cualquier lugar y en cualquier momento.

VII-L. Impacto de IoT en el riego inteligente

La integración de tecnologías IoT en sistemas de riego contribuye a: Reducir el desperdicio de agua: Aplicando riego solo cuando es necesario. Mejorar la salud de las plantas: Asegurando condiciones hídricas óptimas. Aumentar la eficiencia: Al automatizar procesos y disminuir la intervención humana.

El uso de IoT en sistemas de riego no solo promueve un manejo más sostenible de los recursos hídricos, sino que también ofrece soluciones prácticas y modernas para los desafíos del riego manual en jardines urbanos y otras aplicaciones agrícolas. [17] La capacidad de ajustar el riego en función de datos precisos y en tiempo real asegura que cada planta reciba la cantidad adecuada de agua, mejorando así su crecimiento y salud.

VII-M. Agricultura en el Ecuador y en el mundo

La agricultura es un sector crucial para erradicar la pobreza extrema, especialmente en países con problemas de seguridad alimentaria. Su desarrollo es esencial para el crecimiento económico, ya que muchas naciones dependen de las exportaciones de productos agrícolas. No obstante, este sector enfrenta diversos desafíos, como los factores meteorológicos, que se han vuelto más extremos debido al cambio climático. [18] A lo largo de los años, los precios de los alimentos han aumentado, al igual que la inseguridad alimentaria. América Latina, por ejemplo, juega un papel clave como principal exportadora de alimentos a nivel global. La implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura puede ayudar a mitigar estos desafíos, mejorando la productividad y la resiliencia del sector.

VII-N. Impacto de la automatización en la eficiencia del riego

La automatización de los sistemas de riego proporciona un control más eficiente y preciso del uso del agua, reduciendo significativamente el desperdicio asociado con los métodos tradicionales de riego manual. [19] Al integrar tecnologías IoT y sensores avanzados en los sistemas de riego, se optimiza el proceso, permitiendo que los sistemas automáticos rieguen las plantas solo cuando es necesario, basándose en datos en tiempo real de la humedad del suelo, la temperatura y otras variables ambientales.

Estos sistemas facilitan la programación y modificación de los ciclos de riego en función de las demandas precisas de las plantas y las condiciones meteorológicas, previniendo así el riego excesivo o deficiente. [20] Esto no solo ayuda a preservar el agua, un recurso cada vez más limitado, sino que también mejora la salud de las plantas al suministrarles el volumen exacto de agua que necesitan, fomentando su crecimiento y desarrollo adecuado.

Los sistemas de riego automatizados reducen la intervención humana, minimizando el error humano y las tareas repetitivas, lo que permite a los usuarios enfocarse en otras actividades. [21] La monitorización remota, facilitada por las plataformas IoT, ofrece la posibilidad de ajustar los parámetros de riego a distancia, brindando mayor flexibilidad y comodidad para los usuarios, especialmente en jardines urbanos donde el tiempo de dedicación al cuidado de las plantas puede ser limitado.

Además, la automatización contribuye a una mayor sostenibilidad, ya que reduce el impacto ambiental al asegurar que el agua se utilice de manera más eficiente, minimizando el desperdicio y evitando el drenaje de agua hacia sistemas no deseados, como el alcantarillado. En resumen, la automatización de los sistemas de riego no solo mejora la eficiencia en el uso del agua, sino que también optimiza los recursos, promueve la sostenibilidad y facilita el manejo de los jardines urbanos. La implementación de estas tecnologías avanzadas en el riego automatizado representa un avance significativo hacia un manejo más responsable y eficiente de los recursos hídricos.

VII-Ñ. Selección de componentes

La selección de componentes es un paso crucial en el diseño de sistemas de riego automatizados. Se llevará a cabo una evaluación detallada de sensores de humedad, sensores de temperatura y dispositivos de control como electroválvulas. Estos componentes serán evaluados según varios criterios importantes, incluyendo su compatibilidad

con sistemas IoT, precisión en la medición, eficiencia energética y durabilidad en entornos de exteriores.

Los sensores de humedad y temperatura deben ser altamente precisos para proporcionar datos fiables que permitan un riego óptimo. La compatibilidad con sistemas IoT es esencial para asegurar que estos sensores puedan integrarse fácilmente en la red de dispositivos conectados, facilitando la comunicación y el control remoto. Además, la eficiencia energética es un factor clave, ya que los componentes deben consumir la menor cantidad de energía posible para prolongar la vida útil del sistema y reducir costos operativos.

La durabilidad en entornos de exteriores es otro aspecto crítico, ya que los componentes estarán expuestos a diversas condiciones climáticas. Por lo tanto, deben ser resistentes a la humedad, el calor, el frío y otros factores ambientales que podrían afectar su funcionamiento. Las electroválvulas por su parte, deben ser robustos y fiables para garantizar un control preciso y eficiente del flujo de agua.

A continuación, se describen las características y el funcionamiento de los componentes seleccionados.

VII-O. Sensores de Humedad (CNT5)

Los sensores de humedad son dispositivos diseñados para medir el contenido de agua presente en el suelo. Su importancia radica en la capacidad de garantizar un riego eficiente, evitando tanto el exceso como la escasez de agua, lo cual es crítico para la salud de las plantas. El modelo destaca por su alta precisión y fiabilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para sistemas de riego inteligentes basados en IoT.

- **Principio de Funcionamiento:** Los sensores CNT5 utilizan tecnología capacitiva para medir la constante dieléctrica del suelo. Esta constante varía dependiendo de la cantidad de agua presente, lo que permite al sensor calcular con precisión el nivel de humedad. La salida de datos del sensor puede ser analógica o digital, dependiendo de la configuración del sistema.
- **Características Técnicas:**
 - Rango de medición: De 0 % a 100 % de humedad relativa del suelo.
 - Precisión: $\pm 3\%$ en suelos estándar, lo que asegura lecturas confiables para aplicaciones críticas.
 - Robustez: Diseñado para resistir condiciones ambientales adversas como humedad constante, cambios de temperatura y exposición prolongada al sol.
- **Ventajas:**
 - Baja interferencia por variaciones externas, como partículas de tierra o temperatura ambiental.
 - Fácil integración con microcontroladores como el ESP32 gracias a su compatibilidad con protocolos estándar.
 - Consumo energético optimizado, ideal para sistemas autónomos alimentados por baterías o paneles solares.
- **Aplicaciones:** Estos sensores son utilizados en agricultura de precisión, sistemas de riego automatizado, jardinería urbana y estudios ambientales, donde el control preciso del agua es esencial. Como se muestra en la figura 2

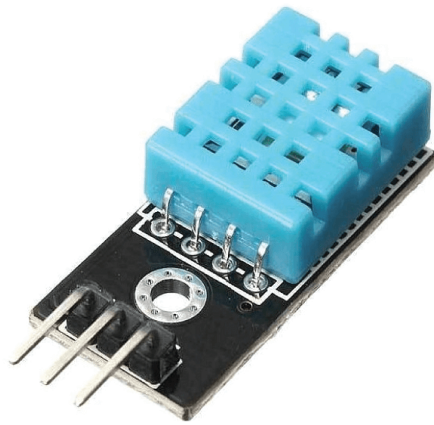


Figura 2. Sensor de humedad CNT5 [22]

Los sensores de temperatura son dispositivos fundamentales en sistemas de riego inteligente, ya que permiten ajustar la frecuencia y cantidad de riego según las condiciones climáticas del entorno. Modelos como el **DHT11** y el **DHT22** son ampliamente utilizados por su versatilidad y precisión. [22]

VII-P. Sensor de Humedad YL-100

Los sensores de humedad del suelo, como el YL-100, son esenciales en sistemas de riego inteligente, ya que permiten monitorear y mantener niveles óptimos de humedad en el suelo, asegurando el crecimiento saludable de las plantas. Como se muestra en la figura 3

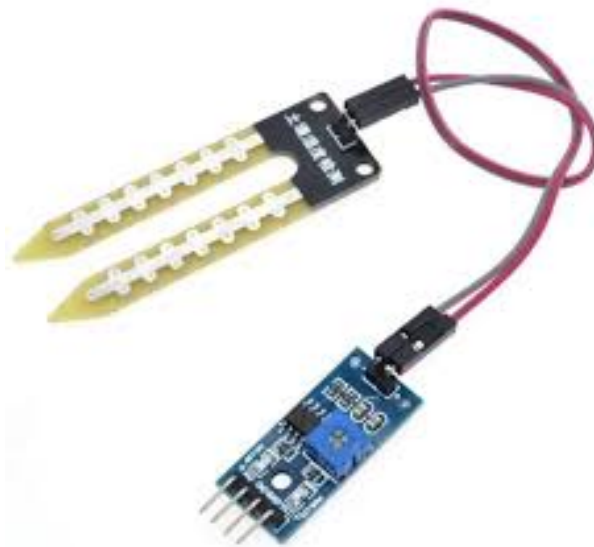


Figura 3. Sensor de humedad YL100 [22]

- **Principio de Funcionamiento:** El sensor YL-100 mide la humedad del suelo utilizando dos sondas que pasan corriente a través del suelo. La resistencia eléctrica del suelo varía con el contenido de humedad: más agua reduce la resistencia, mientras que el suelo seco aumenta la resistencia. Estas variaciones se convierten en señales que el microcontrolador puede interpretar.

■ **Características Técnicas:**

- Voltaje de operación: 3.3V 5V.
- Modo de salida dual: salida digital y salida analógica.
- Dimensiones de la PCB: 30mm x 16mm.
- Dimensiones de la sonda: 60mm x 30mm.
- Indicadores: Indicador de alimentación (rojo) e indicador de salida digital (verde).
- Sensibilidad ajustable mediante potenciómetro.

■ **Ventajas:**

- Fácil instalación gracias a los agujeros de montaje.
- Bajo costo y alta disponibilidad en el mercado.
- Compatible con microcontroladores y plataformas IoT.

- **Aplicaciones:** Los sensores de humedad del suelo YL-100 se utilizan en sistemas de riego inteligente, monitoreo de jardines urbanos, y proyectos de agricultura de precisión.

VII-P1. Dispositivos de Control:

VII-Q. Electroválvulas

Las electroválvulas son dispositivos electromecánicos que controlan el flujo de agua mediante un mecanismo de apertura y cierre automático. [17] Son esenciales en sistemas de riego inteligente, ya que permiten gestionar el suministro de agua de forma precisa y eficiente.

- **Principio de Funcionamiento:** Una electroválvula funciona mediante un solenoide que, al ser energizado, genera un campo magnético que mueve un pistón interno. Este pistón abre o cierra el paso del agua según lo indique el sistema de control.

■ **Características Técnicas:**

- Material: Cuerpo de plástico resistente o latón, diseñado para soportar altas presiones y exposición al agua.
- Voltaje de operación: Generalmente 12V o 24V DC, aunque algunos modelos pueden operar con corriente alterna.
- Caudal: Varía entre 5 L/min y 50 L/min dependiendo del modelo.
- Vida útil: Más de 500,000 ciclos de apertura/cierre en condiciones estándar.

■ **Ventajas:**

- Operación confiable en diversas condiciones climáticas.
- Compatible con sistemas automatizados mediante microcontroladores como el ESP32.
- Permite una gestión eficiente del agua, reduciendo el desperdicio.

- **Aplicaciones:** Se utilizan en sistemas de riego agrícola, jardinería urbana, control de sistemas hidráulicos y proyectos industriales relacionados con la gestión del agua. Como se muestra en la figura 4



Figura 4. Electroválvula. Fuente:Autores

VII-Q1. Actuadores: Los actuadores automatizan el movimiento de las válvulas, ofreciendo un control preciso del flujo de agua. Se seleccionaron por su fiabilidad y eficiencia energética.

VII-R. Microcontrolador ESP32

El **ESP32** es un microcontrolador de alto rendimiento diseñado para proyectos IoT. [11] Con capacidades de conectividad Wi-Fi y Bluetooth, es el cerebro del sistema de riego inteligente, ya que coordina la interacción entre sensores, actuadores y la plataforma en la nube.

■ **Características Técnicas:**

- Procesador dual-core de 32 bits, con velocidades de hasta 240 MHz.
- Memoria RAM: 520 KB, suficiente para manejar múltiples tareas concurrentes.
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2 BLE.
- Entradas/salidas: 34 pines GPIO, compatibles con múltiples protocolos como I2C, SPI y UART.

■ **Ventajas:**

- Ideal para proyectos de IoT gracias a su conectividad inalámbrica y versatilidad.
- Bajo costo en comparación con otros microcontroladores con capacidades similares.
- Gran comunidad de soporte y bibliotecas disponibles, lo que simplifica su programación.

- **Aplicaciones:** Además de sistemas de riego, el ESP32 se utiliza en automatización del hogar, monitoreo ambiental, robótica y sistemas de alerta temprana. Como se muestra en la figura 5



Figura 5. Microcontrolador ESP32 [23]

VII-S. Fuente de Voltaje

La fuente de voltaje es un componente esencial para alimentar todos los dispositivos del sistema de riego, incluyendo el ESP32, sensores y actuadores. Como se observa en la figura 6

■ **Características Técnicas:**

- Salida: Voltajes de 5V, 12V o 24V DC, dependiendo de los requerimientos del sistema.
- Potencia: Entre 10W y 50W, suficiente para alimentar todos los componentes simultáneamente.
- Protección: Incluye sistemas contra cortocircuitos, sobrecalentamiento y sobrecarga.

■ **Ventajas:**

- Asegura un suministro eléctrico estable para evitar fallos en el sistema.
- Compatible con sistemas de energía renovable como paneles solares.
- Fácil instalación y configuración.

- **Aplicaciones:** Se utiliza en sistemas de riego automatizado, automatización industrial y cualquier proyecto que requiera una alimentación confiable para dispositivos electrónicos.



Figura 6. Fuente de Voltaje. Fuente:Autores

VII-T. Sistema hidráulico

Se diseñó un sistema que integra tuberías conectadas directamente a la red de suministro de agua mediante una llave de paso principal. El control del flujo de agua se realiza a través de electroválvulas inteligentes, las cuales son gestionadas por el sistema electrónico del riego. Este diseño asegura una distribución eficiente del agua hacia las diferentes áreas del jardín, regulando el caudal y evitando desperdicios. [24] Además, se emplean conectores específicos y tuberías flexibles para garantizar una instalación robusta, a prueba de fugas y adaptable a diversas configuraciones de jardines urbanos.

VII-T1. Componentes del Sistema:

■ Manguera de 4 metros

- Uso: La manguera actuará como conducto principal que llevará el agua desde la bomba hasta las zonas del jardín que se necesiten regar. [25] Asegúrate de que esté hecha de un material apto para uso en exteriores y que no se obstruya fácilmente.

■ Electroválvulas

- Uso: Estas válvulas le permiten controlar el flujo de agua a través de la manguera. [26] Son inteligentes; pueden activarse o desactivarse automáticamente mediante un controlador (por ejemplo, ESP32) en función de las señales del sensor de humedad.

■ Sensores de humedad CNT5

- Uso: Estos sensores se colocan en el suelo para medir los niveles de humedad. [27] Cuando detectan que el suelo está seco, envían una señal para activar una válvula solenoide y permitir que el agua fluya. Esto ayuda a evitar riegos innecesarios y garantiza que la planta reciba la cantidad adecuada de agua.

■ Sensores de humedad YL-100

- Uso: Estos sensores se colocan en el suelo para medir los niveles de humedad. [28] Cuando detectan que el suelo está seco, envían una señal para activar una válvula solenoide y permitir que el agua fluya. Esto ayuda a evitar riegos innecesarios y garantiza que la planta reciba la cantidad adecuada de agua.

■ ESP32

- Uso: Se trata de un microcontrolador con opciones de conectividad (Wi-Fi y Bluetooth) que actuará como cerebro del sistema. Recibirá señales del sensor de humedad y controlará la válvula solenoide y la bomba de agua. [20] Además, se puede programar para enviar notificaciones a teléfonos móviles o monitorear el estado del riego mediante aplicaciones dedicadas.

■ Fuente de voltaje

- Uso: Esta fuente de alimentación proporcionará la energía necesaria para la bomba y el ESP32. [29] Asegúrate de que tenga suficiente energía para suministrar todos los componentes que necesitan energía y asegúrate de que las especificaciones de voltaje y corriente sean correctas.

VII-T2. Programación del Microcontrolador: El microcontrolador ESP32 es un elemento esencial en los sistemas IoT debido a su capacidad para gestionar múltiples sensores y actuadores, además de su conectividad inalámbrica.

- **Concepto:** La programación del ESP32 se orienta a integrar lógica que permita la activación de válvulas solenoides en función de las lecturas de sensores de humedad y temperatura, además de habilitar configuraciones de riego automatizado.

■ Características:

- Interacción directa con sensores para la adquisición de datos.
- Gestión de señales de control para actuadores como electroválvulas.
- Comunicación inalámbrica mediante Wi-Fi para integrar los datos en la nube.

VII-T3. Esquema Eléctrico: El esquema eléctrico es la representación gráfica del diseño del sistema que integra sensores, actuadores, fuentes de energía y protecciones eléctricas. Como se muestra en la figura 7

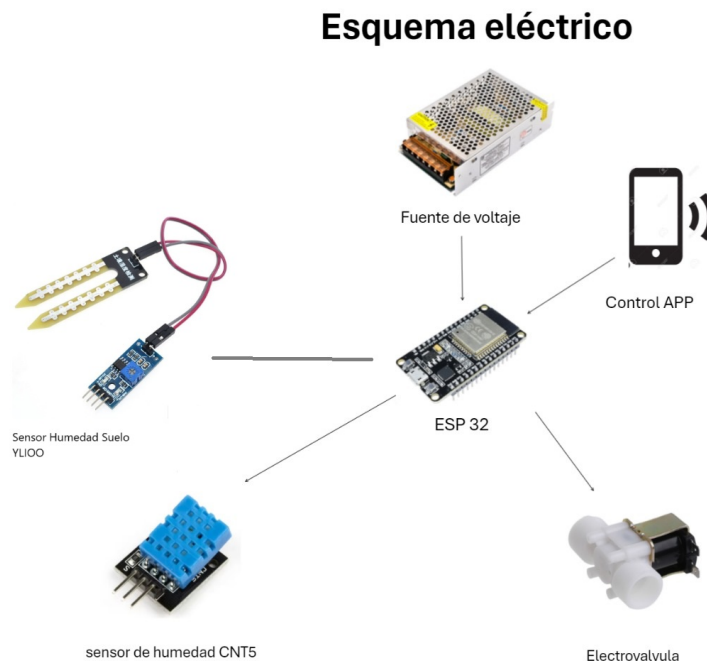


Figura 7. Fuente de Voltaje. Fuente:Autores

- **Concepto:** Este diseño asegura la correcta interconexión de todos los componentes del sistema, facilitando la integración con la red eléctrica y Wi-Fi para el control remoto.
- **Características:**
 - Fuentes de alimentación dedicadas para cada componente.
 - Circuitos de protección para evitar sobrecargas y cortocircuitos.
 - Conexión eficiente de sensores, actuadores y el microcontrolador.

VII-U. *Hardware del Sistema IoT*

VII-U1. *Integración de Componentes:* La integración de componentes físicos asegura el funcionamiento coordinado del sistema.

- **Concepto:** La integración implica conectar sensores, actuadores y unidades de control dentro del entorno físico del sistema, garantizando su correcta funcionalidad.
- **Características:**
 - Instalación de sensores en puntos estratégicos del área de riego.
 - Conexión de actuadores como válvulas solenoides al sistema hidráulico.
 - Establecimiento de un enlace estable con el controlador central.

VII-U2. *Evaluación de Conexiones:* La evaluación de conexiones asegura la funcionalidad de todos los componentes interconectados.

- **Concepto:** Este proceso verifica que las conexiones físicas y de comunicación sean correctas y estables.
- **Características:**
 - Verificación de la transmisión de datos entre sensores y el microcontrolador.
 - Comprobación de la activación de actuadores según las señales recibidas.
 - Supervisión de la estabilidad de la comunicación inalámbrica.

VII-V. *Evaluación del Hardware*

VII-V1. *Evaluación Funcional:* La evaluación funcional asegura que cada componente cumpla con su propósito.

- **Concepto:** Este tipo de evaluación examina el desempeño de sensores y actuadores bajo condiciones controladas.
- **Características:**
 - Revisión de la precisión en las lecturas de sensores.
 - Pruebas de respuesta de los actuadores a diferentes señales de control.
 - Ajuste de parámetros para optimizar el rendimiento.

VII-V2. *Reducción del Desperdicio de Agua:* La eficiencia hídrica es un objetivo clave en los sistemas de riego inteligentes.

- **Concepto:** La reducción del desperdicio se logra mediante algoritmos de control que optimizan el uso del agua, basándose en datos en tiempo real.
- **Características:**
 - Sensores de humedad que activan el riego solo cuando es necesario.
 - Ajustes automáticos basados en datos climáticos.
 - Implementación de válvulas automáticas que regulan el flujo de agua.

VII-W. *Software del Sistema IoT*

VII-W1. *Arquitectura de la Plataforma IoT:* La arquitectura define la estructura y funcionamiento de la plataforma, integrando hardware, software y comunicación en la nube.

- **Concepto:** La plataforma IoT gestiona la recolección, almacenamiento y visualización de datos, permitiendo la supervisión remota y el control del sistema.
- **Características:**
 - Uso de bases de datos en la nube para almacenamiento centralizado.
 - Integración con aplicaciones móviles para la interacción del usuario.
 - Escalabilidad para admitir nuevos dispositivos o funcionalidades.

VII-W2. Interfaz de Usuario (UI): La interfaz de usuario (UI) es el medio que permite la interacción entre el usuario y el sistema. Para sistemas de riego inteligentes, esta interfaz debe ser intuitiva y ofrecer funcionalidades que faciliten la supervisión y configuración del riego.

- **Concepto:** La UI se diseña para proporcionar acceso directo a la información sobre el estado del sistema, como los niveles de humedad y la temperatura del entorno. Debe ser accesible desde diferentes dispositivos, como teléfonos móviles y tabletas, ofreciendo una experiencia de usuario óptima.
- **Características:**
 - Visualización de datos en tiempo real sobre las variables del sistema.
 - Configuración de parámetros, como horarios de riego personalizados.
 - Notificaciones sobre eventos relevantes, como alertas de humedad baja o fallos técnicos.

VII-W3. Plataforma IoT: La plataforma IoT actúa como un puente entre los dispositivos físicos y la nube, permitiendo el monitoreo y control remoto. Su diseño incluye componentes de software que facilitan la recolección, procesamiento y visualización de datos.

- **Concepto:** La plataforma IoT integra sensores, actuadores y una base de datos en la nube para proporcionar un sistema conectado. Esto permite la gestión centralizada de datos y la toma de decisiones automáticas basadas en condiciones predefinidas.
- **Características:**
 - Recolección y almacenamiento de datos en tiempo real.
 - Interacción bidireccional para enviar órdenes desde la aplicación al sistema.
 - Escalabilidad para integrar nuevos dispositivos o funcionalidades en el futuro.

VIII. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo, se examinan los principios fundamentales relacionados con la implementación de un sistema de riego inteligente en jardines urbanos, considerando aspectos técnicos y ambientales. Se revisan los desafíos del riego manual en entornos urbanos y cómo la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) puede optimizar el uso de agua en dichos sistemas. Asimismo, se detallan los componentes y tecnologías clave que se emplearán en el desarrollo del proyecto, incluyendo sensores de humedad y temperatura, microcontroladores, electroválvulas, y la integración de bases de datos en la nube a través de Firestore.

IX. DISEÑO Y DIAGRAMA

IX-A. Diseño esquemático del circuito electrónico

En la figura 8 se muestra el diseño esquemático del circuito electrónico implementado en el sistema de riego inteligente, el cual integra diversos componentes clave para el control, monitoreo y operación del sistema hidráulico.

El circuito se compone de las siguientes secciones

1. Regulación de voltaje

- Se utiliza un regulador de voltaje **LM7805** (U1) para convertir la alimentación de 12V a 5V, asegurando un suministro estable y adecuado para los componentes electrónicos.
- El regulador está acompañado de dos condensadores polarizados (**C1** y **C2**) para filtrar el ruido en la línea de alimentación, garantizando la estabilidad del sistema.
- La entrada de 12V se encuentra en el extremo superior izquierdo, y la salida regulada de 5V está conectada a los demás módulos del circuito. Como se puede apreciar en la figura 8

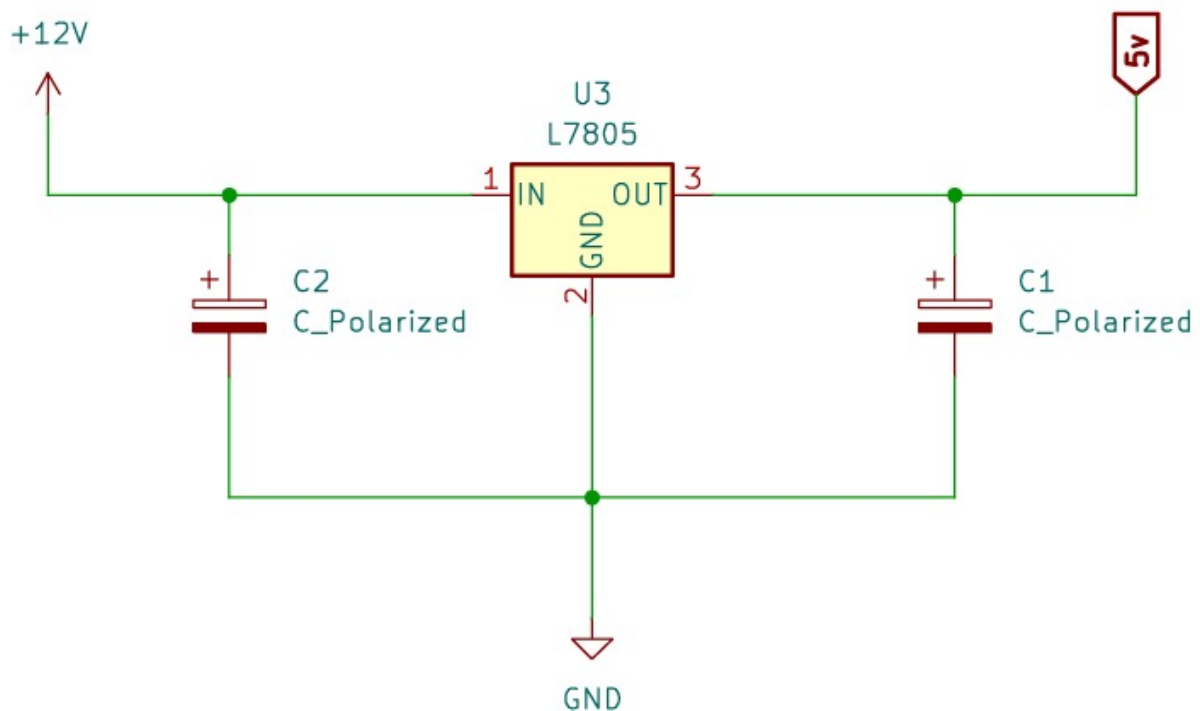


Figura 8. Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.

2. Unidad de procesamiento

Como se puede observar en la Figura 9, la unidad de procesamiento es la encargada de gestionar la comunicación entre los sensores, actuadores y la plataforma IoT, asegurando una operación eficiente y automatizada del sistema de riego.

- El núcleo del sistema es el microcontrolador **ESP32-S2-WROVER-I** (U1), que coordina todas las operaciones del sistema de riego.
- Al ESP32 se conecta un sensor **DHT11** (U2) encargado de medir la humedad relativa y la temperatura del entorno. La comunicación entre el sensor y el microcontrolador se realiza mediante su pin de datos, que está conectado a una entrada digital del ESP32.
- **YL69** (U4), un sensor de humedad del suelo que permite detectar el nivel de humedad en la tierra. Su salida de datos está conectada a una entrada digital del ESP32, proporcionando información clave para la activación de la electroválvula.
- Las salidas del ESP32 están configuradas para controlar dos actuadores principales:
 - **Electroválvula:** Controlada mediante un relé, abre o cierra el flujo de agua proveniente directamente de una llave de agua para garantizar una presión adecuada.

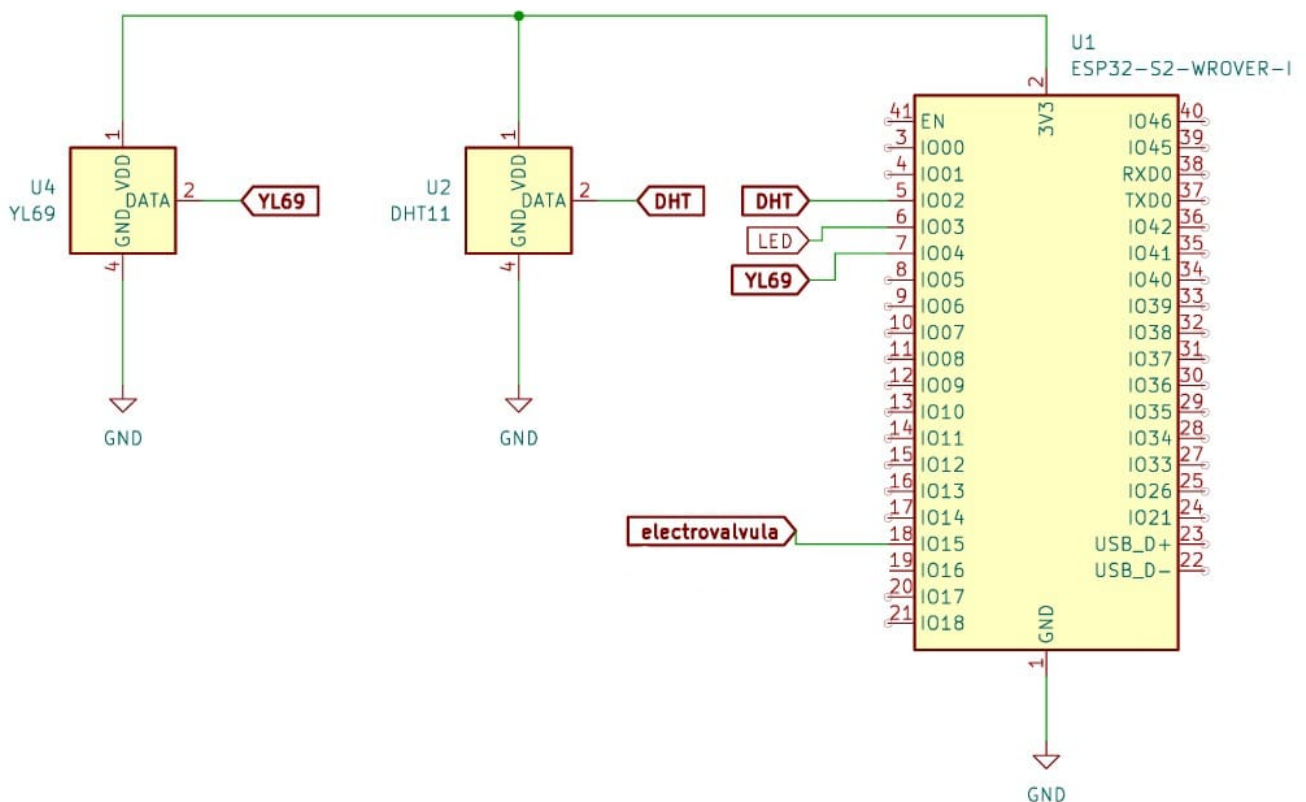


Figura 9. Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.

3. Control de actuadores

A su vez, en la sección correspondiente al control de actuadores, como se observa en la Figura 10, se gestionan los mecanismos encargados de regular el flujo de agua en el sistema de riego.

- Se emplea un relé (**K2**) para la activación y desactivación de la electroválvula. Este relé permite manejar cargas de corriente alterna (AC) de manera segura, aislando eléctricamente el microcontrolador del dispositivo de potencia.
 - **Relé de la electroválvula (K2):** Se conecta a una electroválvula electromagnética (**L1**) que regula el flujo de agua desde la llave hacia las tuberías del sistema de riego.
- El relé está controlado por una salida digital del ESP32, la cual activa el circuito magnético del relé mediante una señal de baja corriente.

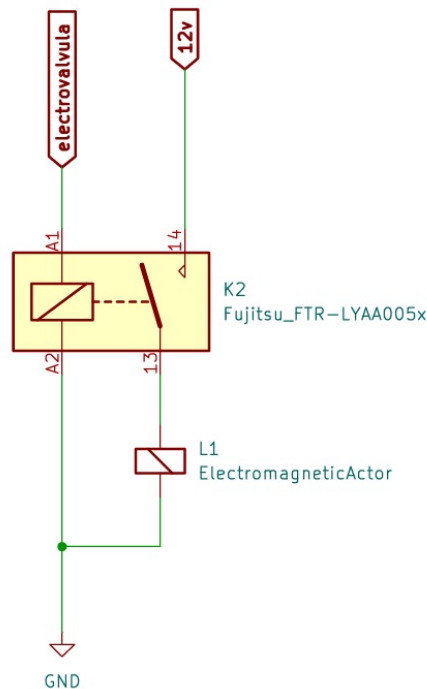


Figura 10. Diseño esquemático del circuito electrónico del sistema de riego. Fuente: Autores.

Propósito del diseño: Este esquema integra todos los elementos necesarios para un control inteligente del sistema de riego. La regulación de voltaje asegura la estabilidad del suministro eléctrico; el ESP32 actúa como el cerebro del sistema, procesando datos del sensor DHT11 y ejecutando decisiones de control en tiempo real; y el relé proporciona un mecanismo seguro para interactuar con la electroválvula, que regula el flujo de agua desde la llave directamente.

El diseño garantiza una operación eficiente, segura y robusta, permitiendo la automatización del riego en jardines urbanos mediante el uso de tecnologías IoT y sensores avanzados.

IX-B. Diseño del sistema hidráulico

El presente documento describe el diseño del sistema hidráulico para el sistema de riego inteligente destinado a jardines urbanos. Este sistema está basado en tecnologías IoT y se conecta directamente a la red de suministro de agua, eliminando la necesidad de una bomba de agua. Su diseño garantiza un suministro eficiente y controlado, optimizando el uso del recurso hídrico mediante la integración de sensores de humedad y electroválvulas automatizadas. Como se muestra en la figura 11, el sistema hidráulico está compuesto por

una serie de tuberías que distribuyen el agua desde la red de suministro hasta las zonas de riego, controladas por electroválvulas que se activan en función de los datos recopilados por los sensores de humedad.

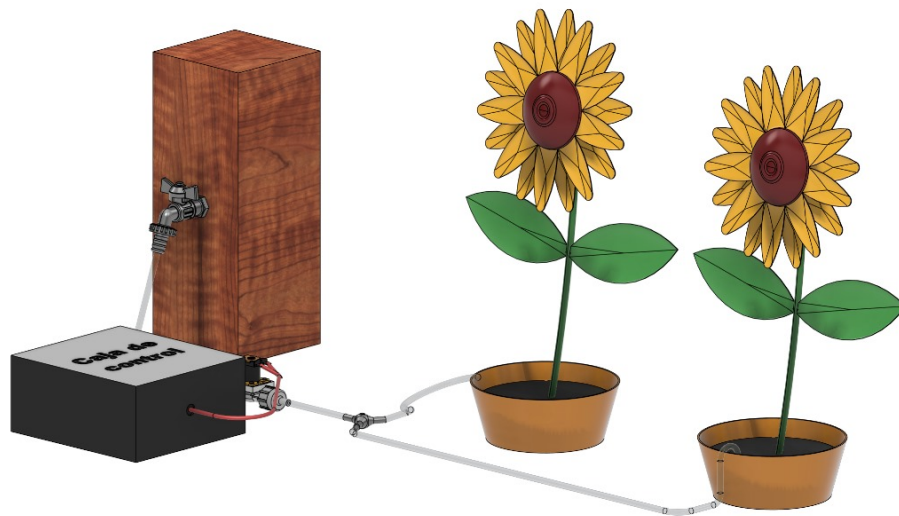


Figura 11. sistema hidráulico . Fuente:Autores

X. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico consta de una serie de componentes estratégicamente seleccionados para garantizar un flujo de agua eficiente y una distribución uniforme. Entre estos componentes se incluyen tuberías de distribución, electroválvulas, sensores de humedad, un controlador central y filtros de agua. Como se muestra en la figura 12, el sistema está diseñado para operar de manera coordinada, optimizando el uso del recurso hídrico y adaptándose a las necesidades específicas de cada zona de riego.

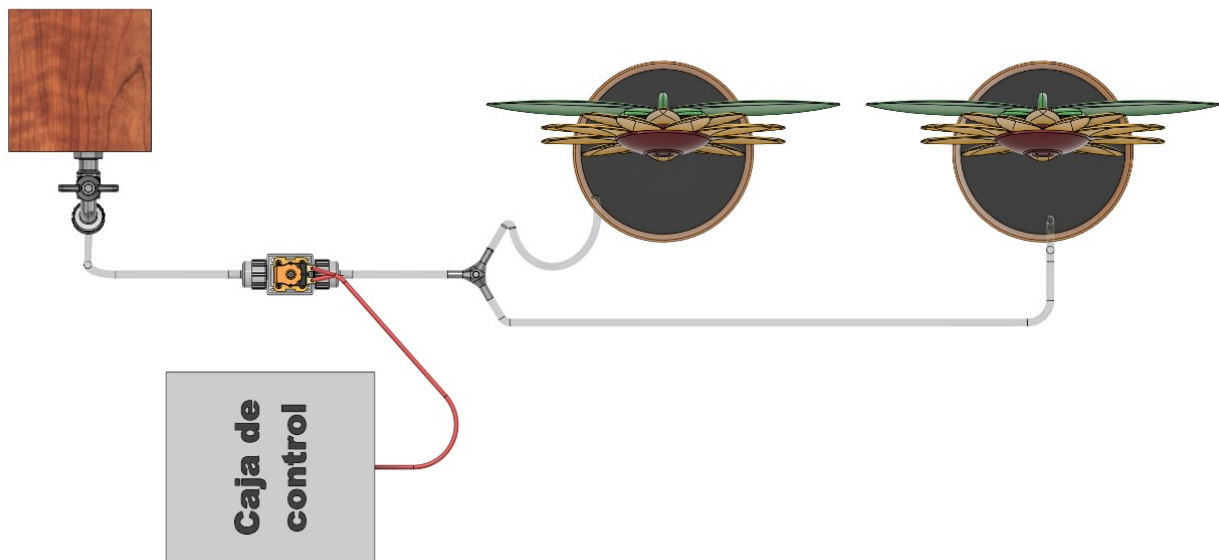


Figura 12. sistema hidráulico . Fuente:Autores

- **Llave de suministro:** Es el punto de entrada del agua al sistema, conectada directamente a la red de abastecimiento. Esta permite regular el caudal inicial antes de su distribución.
- **Electroválvula:** Controla el flujo de agua de manera automatizada en función de las señales enviadas por la unidad de control. Se activa o desactiva según los niveles de humedad detectados en el sustrato.
- **Tuberías flexibles:** Permiten la conducción del agua desde la electroválvula hasta los puntos de distribución. Están diseñadas para soportar la presión del sistema sin riesgo de fugas.
- **Distribuidores y conectores:** Se emplean para dividir el flujo de agua hacia múltiples plantas, asegurando una irrigación homogénea en toda el área de cobertura.
- **Emisores de riego:** Son los puntos de salida del agua, ubicados estratégicamente en cada planta o macetero para proporcionar una irrigación precisa y localizada.

X-A. Funcionamiento del Sistema

El sistema hidráulico opera de la siguiente manera:

1. Al activarse el sistema, la electroválvula se abre permitiendo el flujo de agua desde la llave de suministro hacia las tuberías principales.
2. El agua se distribuye a través de los conectores y tuberías flexibles hasta los emisores de riego, ubicados en cada planta.
3. Los sensores de humedad monitorean continuamente la humedad del sustrato y envían la información a la unidad de control.
4. Si se detecta un nivel adecuado de humedad en el suelo, la electroválvula se cierra automáticamente para evitar el desperdicio de agua.
5. En caso de requerirse un nuevo ciclo de riego, el sistema se activa nuevamente bajo los mismos parámetros de control.

X-B. Beneficios del Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico del sistema de riego inteligente ofrece diversas ventajas, tales como:

- **Optimización del consumo de agua:** Gracias al monitoreo en tiempo real y a la automatización del riego, se reduce el desperdicio de agua y se optimiza su uso.
- **Mantenimiento simplificado:** Al no depender de una bomba de agua, se minimizan los costos y la necesidad de mantenimiento del sistema.
- **Distribución uniforme del agua:** El uso de distribuidores y conectores garantiza que todas las plantas reciban una cantidad adecuada de agua.
- **Escalabilidad:** El sistema puede expandirse fácilmente añadiendo más tuberías y emisores de riego según las necesidades del usuario.

El diseño del sistema hidráulico basado en la conexión directa a la red de suministro de agua permite una implementación eficiente y de bajo mantenimiento. La combinación de electroválvulas, sensores de humedad

y tuberías flexibles asegura una distribución precisa del agua, contribuyendo a la sostenibilidad de los jardines urbanos mediante el uso racional del recurso hídrico.

X-C. Diseño de los conectores en Fusion 360

En esta sección se describe el diseño de los conectores realizados en el software CAD **Fusion 360**, los cuales fueron modelados con precisión para adaptarse a las medidas exactas de la electroválvula utilizada en el sistema. Los diseños buscan garantizar un acople perfecto, funcionalidad mecánica y resistencia estructural para el correcto desempeño del sistema.

X-C1. Conector principal de entrada y salida de la Electroválvula:

- **Descripción:** Este componente se encarga de unir la electroválvula con el sistema de tuberías. Fue diseñado con precisión para garantizar un acople hermético y evitar fugas de fluido.
- **Características destacadas:**
 - Roscas internas y externas para acoplarse de manera segura con las boquillas de la electroválvula.
 - Material optimizado para resistir presión constante y variaciones de temperatura.
 - Contornos ergonómicos para facilitar su instalación manual o mediante herramientas estándar.
- **Función:** Asegura una conexión firme y confiable entre la electroválvula y las tuberías del sistema. Como se muestra en las Figuras 13 y 14

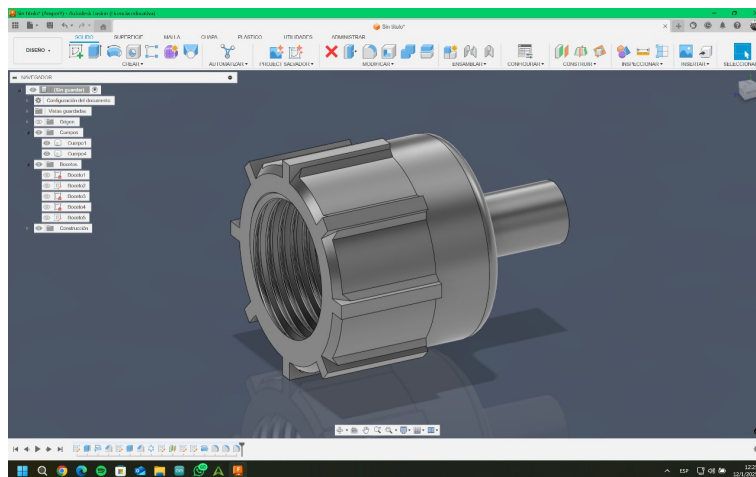


Figura 13. Diseño de conectores Fuente:Autores

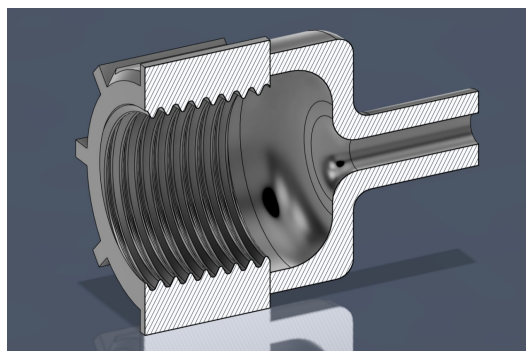


Figura 14. Diseño de conectores. Fuente:Autores

X-D. Diseño de acople electroválvula

El plano técnico presentado en la figura ilustra el diseño detallado del conector fabricado para acoplarse con una electroválvula de 12V utilizada en el sistema de riego inteligente. Este componente, diseñado en *Fusion 360*, muestra vistas isométrica, superior y lateral, acompañadas de cotas que especifican sus dimensiones principales.

Entre los detalles más relevantes se encuentran un diámetro exterior de 40 mm, una longitud total de 31 mm y roscas internas de tipo G20.955x1.814 A, diseñadas para garantizar un ajuste preciso con la electroválvula. Además, se incluye una sección que detalla las características internas del conector, optimizadas para un ensamblaje eficiente.

El conector ha sido diseñado para ser fabricado mediante impresión 3D utilizando material PLA, lo que permite alta precisión en las dimensiones y asegura la compatibilidad con el sistema de riego. Este diseño cumple con los requisitos técnicos necesarios para soportar las condiciones operativas del sistema, incluyendo el flujo de agua y las conexiones mecánicas requeridas. Como se muestra en la Figura 15

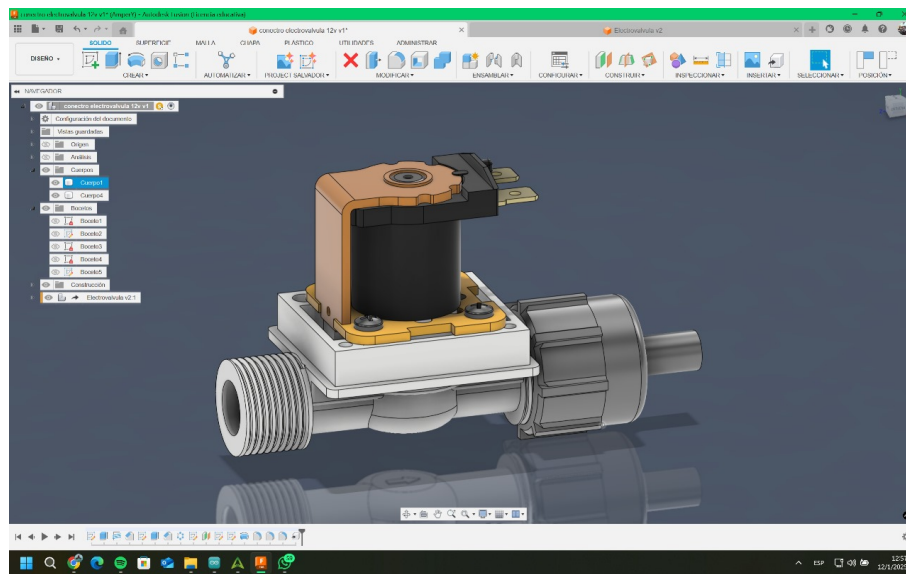


Figura 15. Diseño electroválvula y conector. Fuente:Autores

X-E. Proceso de Impresión 3D de Conectores para Electroválvulas

Los conectores diseñados fueron fabricados utilizando tecnología de impresión 3D con una impresora **Crealty K1**, equipada con una boquilla de diámetro **0.4 mm**. El material utilizado para la impresión fue **PLA (ácido poliláctico)**, un polímero termoplástico biodegradable conocido por su rigidez y facilidad de impresión, ideal para prototipos funcionales.

Los modelos 3D, previamente diseñados en Fusion 360, fueron preparados para impresión mediante el software de rebanado, que generó un archivo G-code optimizado. En la Figura ?? se observa la disposición de cuatro conectores en la plataforma de impresión, cada uno con sus soportes adicionales para garantizar la estabilidad durante el proceso. A continuación, se detallan los parámetros clave:

- **Tiempo total de impresión:** 1 hora y 20 minutos.
- **Peso total del material utilizado:** 36.4 gramos.
- **Longitud del filamento consumido:** 12.21 metros.
- **Altura de capa:** 0.20 mm.

- **Número total de capas:** 251.
- **Densidad de relleno interno:** Configurada para garantizar la resistencia estructural y optimizar el consumo de material.

El diseño incluye características como voladizos y superficies complejas, lo que requirió la incorporación de soportes en áreas específicas (representados en color verde). Estos soportes se eliminan manualmente una vez completada la impresión, dejando las piezas listas para su ensamblaje con las electroválvulas correspondientes.

El uso del material **PLA** asegura un balance adecuado entre resistencia mecánica y facilidad de manufactura, haciendo a los conectores funcionales y confiables para su uso en el sistema hidráulico. Como se muestra en las Figuras 16 y 17

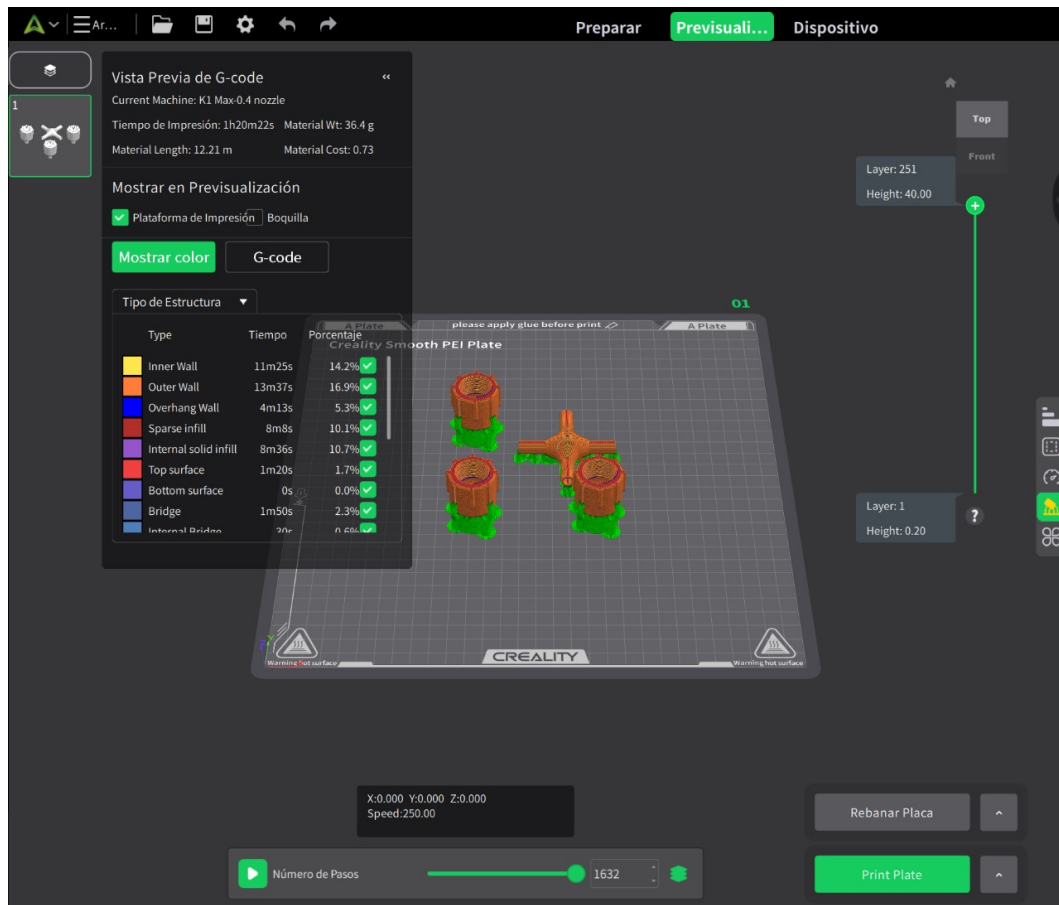


Figura 16. Vista previa del G-code con la disposición de los conectores en la plataforma de impresión. Fuente:Autores

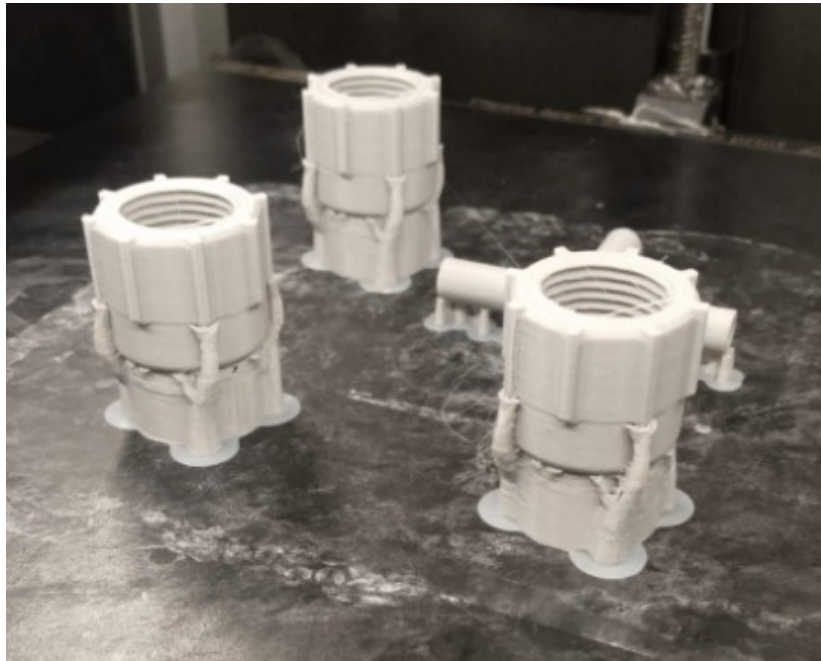


Figura 17. Fabricación de conectores mediante impresión 3D. Fuente:Autores

Las Figuras 18 y 19 muestran una parte del sistema de riego automatizado, que incluye una electroválvula conectada mediante adaptadores y tuberías impresas en 3D, las cuales fueron diseñadas específicamente para ajustarse con precisión a los componentes del sistema. La impresión 3D se realizó utilizando material PLA (ácido poliláctico), conocido por su durabilidad y facilidad de fabricación. Este enfoque permitió personalizar las conexiones para asegurar un ensamblaje óptimo entre la electroválvula y las tuberías. Además, el sistema está directamente conectado a una llave de agua, lo que garantiza una mayor presión para un flujo controlado hacia las plantas al abrirse automáticamente mediante la aplicación IoT. Este diseño integra soluciones tecnológicas y de fabricación que aseguran eficiencia y adaptabilidad al sistema de riego inteligente.



Figura 18. Diseño del sistema. Fuente:Autores



Figura 19. Diseño del sistema. Fuente:Autores

XI. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RIEGO IOT

XI-A. Implementación de los componentes del sistema

XI-A1. Fabricación de conectores mediante impresión 3D: En las Figuras 20 y 21 se observa el montaje del conector fabricado mediante impresión 3D para su integración con la electroválvula. Este componente fue diseñado para garantizar una conexión segura y eficiente con las tuberías del sistema de riego, utilizando material resistente a la presión y humedad.

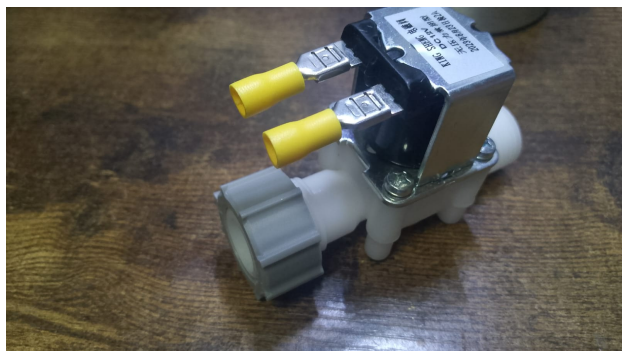


Figura 20. Montaje de electroválvula y conector. Fuente: Autores



Figura 21. Montaje de electroválvula y conector. Fuente: Autores

XI-A2. Ensamblaje de la caja de control: En esta sección se ilustra el ensamblaje interno de la caja de control utilizada en el sistema de riego inteligente. Este componente clave del diseño alberga los elementos electrónicos necesarios para la operación del sistema, dispuestos de manera compacta y organizada. A continuación, se detallan los componentes principales y sus funciones:

- **Módulo de fuente de alimentación:** Ubicado en la parte superior izquierda, este módulo se encarga de convertir y estabilizar la energía eléctrica necesaria para alimentar todos los componentes del sistema. Su carcasa metálica perforada no solo protege los circuitos internos, sino que también permite una disipación eficiente del calor generado durante el funcionamiento.

- **Módulo relé de 4 canales:** Situado en la parte inferior izquierda, este módulo permite controlar dispositivos de mayor potencia, como las electroválvulas, mediante señales de bajo voltaje enviadas desde el microcontrolador. Cada relé actúa como un interruptor electromecánico, proporcionando aislamiento eléctrico y garantizando un control seguro de los actuadores.
- **Microcontrolador ESP32:** Colocado en la parte inferior derecha, este componente es el núcleo de la funcionalidad del sistema. El ESP32 está programado para gestionar las tareas de conectividad IoT, como la transmisión de datos a la nube y la recepción de comandos desde la aplicación móvil. También se encarga de procesar las señales de los sensores y enviar instrucciones a los relés según los parámetros configurados.
- **Placa de circuito prototipo:** La ESP32 está montada en una placa de circuito impreso perforada, que sirve para organizar las conexiones y garantizar la estabilidad de los componentes electrónicos. Este diseño permite futuras modificaciones y expansiones en el sistema sin comprometer la estructura básica.
- **Caja de protección:** El ensamblaje completo está contenido dentro de una caja de plástico resistente, diseñada para proteger los componentes electrónicos de factores externos como humedad, polvo y golpes. Además, la caja cuenta con orificios y soportes internos que facilitan la fijación segura de los módulos y el enrutamiento ordenado de los cables.

Este ensamblaje ha sido diseñado no solo para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente, sino también para facilitar el mantenimiento y la resolución de problemas. La disposición modular permite la identificación rápida de los componentes y la implementación de actualizaciones o reparaciones cuando sea necesario. Como se observa en la figura 22



Figura 22. Ensamblaje de la caja de control del sistema de riego. Fuente: Autores

XI-A3. Implementación de Modelo de Datos en la Nube: Este proyecto utiliza Firestore, la base de datos Firebase NoSQL de Google, para almacenar datos de forma eficiente y escalable. La estructura de Firestore está organizada en colecciones y documentos que permiten un fácil acceso y consulta de datos. Los registros generados por los sensores, como humedad, temperatura y nivel de agua, se almacenan en archivos en colecciones específicas. [30] Cada archivo contiene valores de sensores y metadatos asociados, como la fecha y hora de la medición. Para optimizar las consultas, Firestore le permite indexar campos clave, lo que facilita la recuperación rápida de información y la implementación de filtros. Además, la estructura por niveles de Firestore permite una expansión flexible, lo cual es ideal para sistemas que necesitan agregar nuevos sensores o dispositivos sin reorganizar la base de datos. [31]

XII. DISEÑO DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA IOT

El diseño de la base de datos del sistema de riego inteligente IoT se desarrolló utilizando Firebase. Se implementaron dos tipos de bases de datos: Realtime Database y Firestore Database. Ambas cumplen funciones específicas para garantizar una comunicación eficiente entre los dispositivos ESP32, la aplicación Flutter y la nube. A continuación, se detalla la estructura y funcionalidades de cada una.

XII-A. Estructura de la Base de Datos Realtime

La base de datos Realtime Database se utilizó para manejar la configuración y sincronización en tiempo real entre el dispositivo ESP32 y la aplicación móvil. Su estructura se basa en nodos jerárquicos, como se muestra en el nodo que incluye los siguientes parámetros:

- **modo:** Indica el modo de operación del sistema (automático o manual).
- **tiempo_encendido:** Especifica la duración del ciclo de riego.
- **unidad_tiempo_encendido:** Unidad de medida del tiempo de encendido (segundos o minutos).
- **tiempo_apagado:** Define el tiempo de espera entre ciclos de riego.
- **unidad_tiempo_apagado:** Unidad de medida del tiempo de apagado (segundos o minutos).
- **humedad_maxima:** Nivel máximo de humedad aceptable para detener el riego.
- **humedad_minima:** Nivel mínimo de humedad para activar el riego.
- **estado_mensaje:** Indica si la configuración enviada por la aplicación llegó correctamente al dispositivo ESP32.

Este diseño garantiza una sincronización en tiempo real entre la ESP32 y Firebase, permitiendo que la aplicación Flutter controle de manera confiable el sistema de riego inteligente.

XII-B. Estructura de la Base de Datos Firestore

Firestore Database se utilizó para el almacenamiento de datos históricos y la gestión avanzada de configuraciones. Esta base de datos organiza la información en colecciones y documentos, como se detalla a continuación.

XII-B1. Estructura Inicial de Firestore: En la Figura 23, se observa que la base de datos Firestore contiene dos colecciones principales:

- **Devices:** Incluye un documento llamado `DeviceDemo`, que describe las características generales del sistema con campos como `descripción`.
- **DeviceDemo:** Representa un dispositivo específico y contiene parámetros como:
 - `humedad-max`: Nivel máximo de humedad.
 - `humedad-min`: Nivel mínimo de humedad.
 - `mode`: Modo de operación.

- tiempo-encendido y tiempo-apagado: Ciclos de encendido y apagado.
- unidad-tiempo-encendido y unidad-tiempo-apagado: Unidades respectivas.

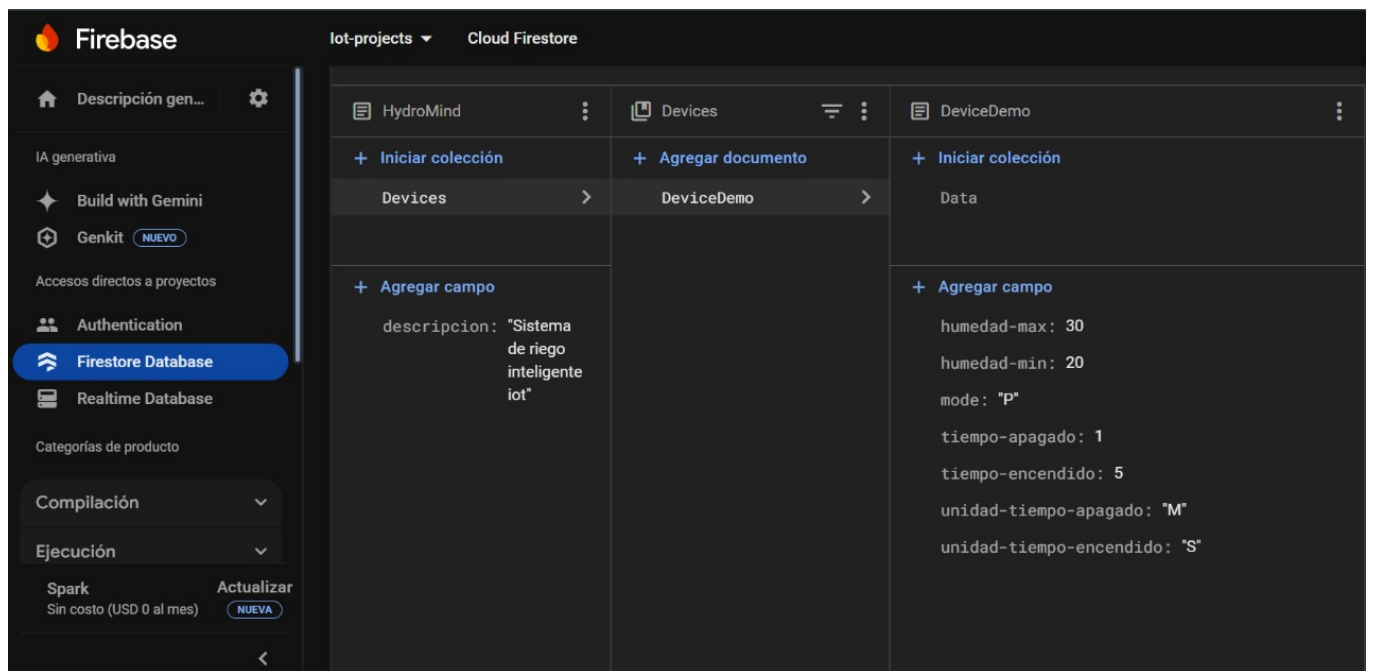


Figura 23. Estructura inicial de la base de datos en Firestore. Fuente:Autores

XII-B2. Subcolección de Datos: La Figura 24 muestra la subcolección *Data*, utilizada para registrar datos históricos del sistema. Cada documento contiene un *timestamp* único y campos como:

- Niveles de humedad actuales (*humedad*).
- Datos del modo de operación (*mode*).
- Duración de los ciclos de encendido y apagado.

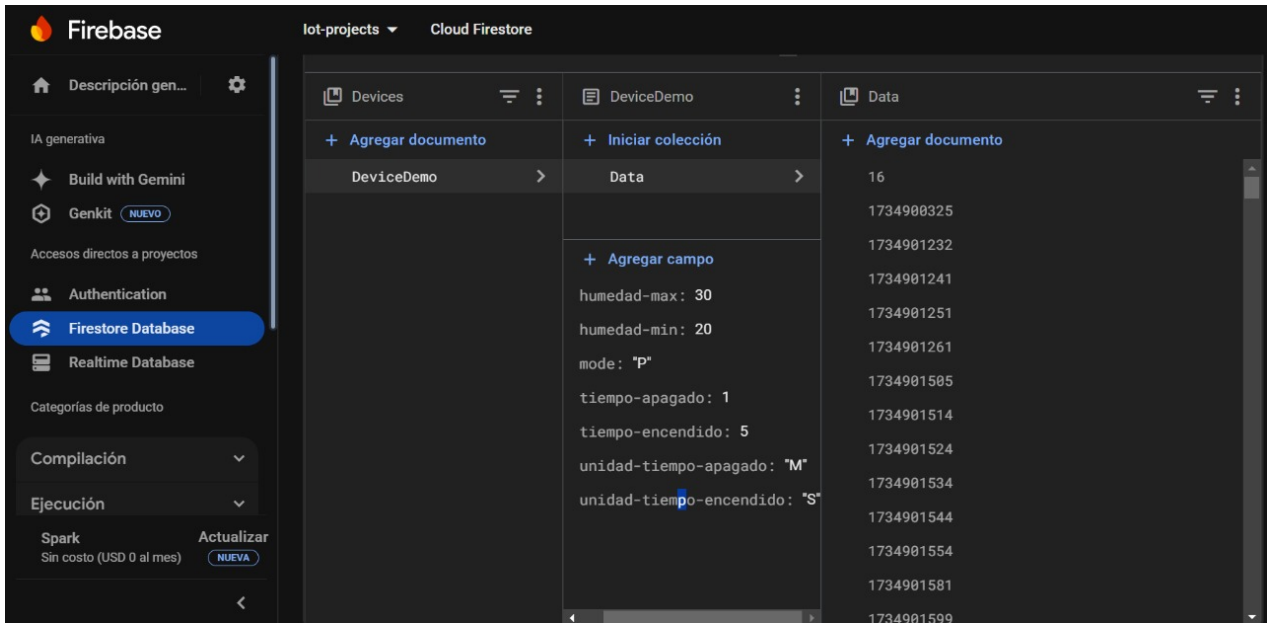


Figura 24. Subcolección Firestore. Fuente:Autores

XII-B3. Registro Específico de Datos: En la Figura 25, se observa un ejemplo de documento dentro de la subcolección Data, que contiene:

- **hum:** Nivel de humedad en tiempo real.
- **temp:** Temperatura registrada.
- **time:** Marca de tiempo exacta en formato UTC.

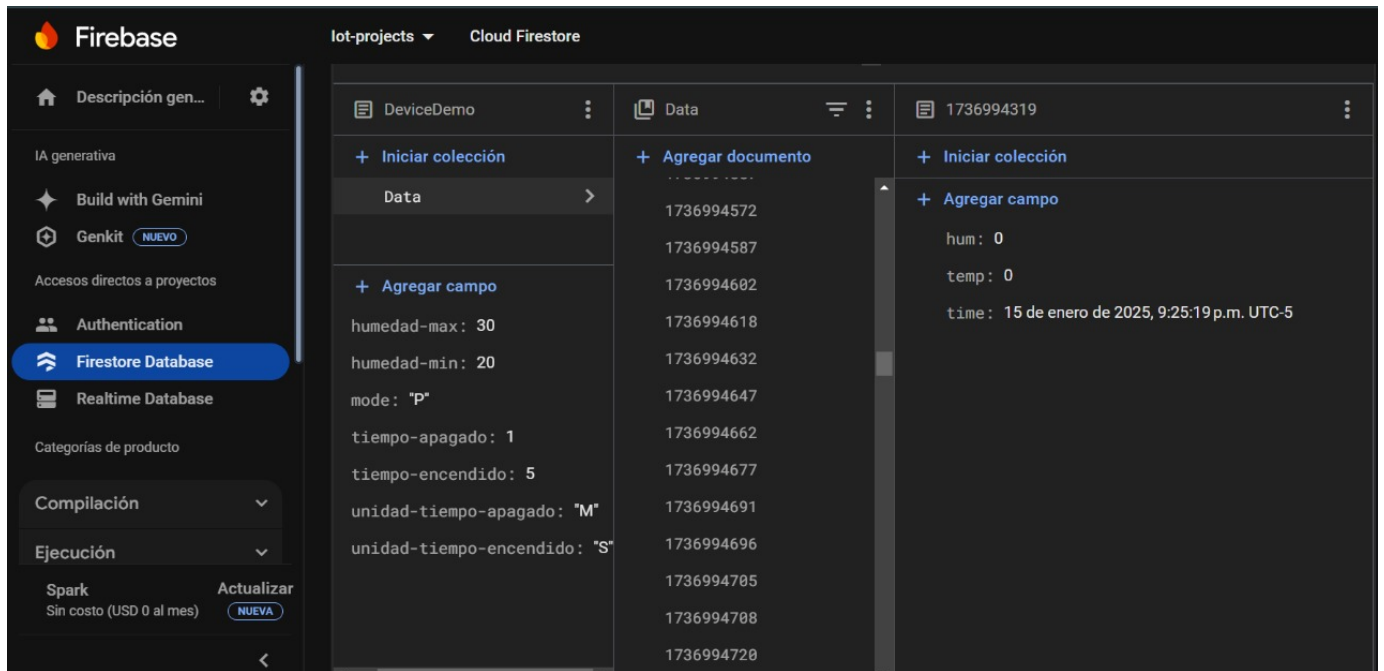


Figura 25. Documento específico dentro de la subcolección. Fuente:Autores

Estos registros son fundamentales para generar reportes automáticos y notificaciones sobre el estado del jardín,

asegurando un monitoreo constante y la optimización de recursos.

XII-C. Integración y Funcionamiento General

El diseño combinado de Realtime Database y Firestore Database permite:

- Sincronización en tiempo real para garantizar el correcto funcionamiento de las configuraciones y respuestas inmediatas del sistema.
- Almacenamiento histórico de datos para análisis, reportes y toma de decisiones informadas.

Este enfoque garantiza un monitoreo eficiente y un control confiable del sistema de riego inteligente basado en IoT.

XII-C1. Implementación de Mecanismos de seguridad: Se implementan varios mecanismos de seguridad en este sistema de riego inteligente para proteger la integridad de los datos y la privacidad del usuario. [32] Firestore, parte de Firebase, proporciona reglas de seguridad personalizables para controlar quién puede leer y escribir en la base de datos, garantizando que solo los usuarios autorizados puedan acceder a los datos del sistema. Además, para la autenticación de usuarios, utilice Firebase Authentication, que admite múltiples métodos de inicio de sesión, como correo electrónico, Google y otros servicios de identidad, para garantizar que solo el personal autorizado pueda cambiar la configuración o acceder a los datos. [33] La transmisión de datos entre dispositivos IoT inteligentes y Firestore se cifra mediante HTTPS para garantizar que la información esté protegida en tránsito.

XII-D. Desarrollo de la aplicación móvil

Se realizó utilizando Flutter. El código incluye:

- Conexión con Firebase (Firestore y Realtime Database).
- Gráficas en tiempo real para los datos de sensores.
- Formularios dinámicos para configuración de los modos.
- Validaciones para garantizar datos correctos.
- Sincronización en tiempo real con los cambios realizados desde la ESP32.

La arquitectura del sistema de riego inteligente esta conformada por los siguientes componentes:

- **Sensores:** Sensores de humedad y temperatura para medir las condiciones ambientales.
- **Actuadores:** Aspersores encargados de ejecutar las acciones de riego.
- **Controlador (ESP32):** Se encarga de recibir los datos de los sensores y controlar los actuadores. Además, gestiona la comunicación con Firebase (Firestore y Realtime Database) a través de conexión WiFi.
- **Base de Datos (Firebase):**
 - **Firestore:** Almacena los parámetros de configuración y el historial de datos del sistema.
 - **Realtime Database:** Envía las configuraciones en tiempo real a la ESP32.
- **Aplicación Móvil (Flutter):** Permite visualizar los datos desde Firestore y configurar los modos del sistema mediante Realtime Database.

La ESP32 escucha los cambios en Realtime Database, almacena la configuración en su memoria y ajusta su funcionamiento según el modo seleccionado. Posteriormente, envía la configuración confirmada a Firestore para que sea visualizada desde la aplicación móvil.

Firestore y el SDK de Flutter son herramientas clave para el desarrollo de una app de un sistema de riego inteligente

Firestore permite almacenar y sincronizar en tiempo real los datos del sistema de riego, como niveles de humedad además de ofrecer el acceso inmediato y centralizado desde la app.

XII-D1. Explicación de la Lógica del Sistema:

1. Conexión a Wi-Fi y Firebase

- **Wi-Fi:** El sistema comienza conectándose a una red Wi-Fi utilizando las credenciales definidas (`WIFI_SSID`, `WIFI_PASSWORD`).
- **Firebase:** Luego se conecta a Firebase, utilizando las credenciales de un proyecto en Firebase. Firebase se usa para almacenar y actualizar la configuración y los datos del sistema de riego en la base de datos en tiempo real (Realtime Database) y Firestore.

2. Lectura de Configuración Local (SPIFFS)

- **SPIFFS (Sistema de Archivos en Memoria):** El código monta el sistema de archivos SPIFFS para almacenar y leer configuraciones. Aquí se lee un archivo JSON que contiene configuraciones de riego, como:
 - Modo de riego (Programable o Automático).
 - Tiempos de encendido y apagado del sistema.
 - Unidades de tiempo para encendido y apagado.
 - Humedad máxima y mínima para controlar el riego.

3. Inicialización del Controlador de Aspersores

- **SprinklerController:** Con los valores leídos del archivo JSON, se inicializa el controlador de aspersores. El controlador maneja el encendido y apagado del aspersor basado en los tiempos configurados y las condiciones de humedad.
 - Se establece el pin de conexión del aspersor.
 - Los tiempos de encendido y apagado, las unidades de tiempo y las condiciones de humedad mínima y máxima se configuran.

4. Publicación de Configuración en Firebase

- **FirebaseJson:** Luego de inicializar el controlador, los valores de configuración (como el modo, los tiempos de encendido y apagado, la humedad mínima y máxima) se publican en Firestore para que estén disponibles en tiempo real y puedan ser modificados de manera remota si es necesario.

5. Sincronización de Hora mediante NTP (Protocolo de Tiempo de Red)

- **NTPClient:** Se utiliza un cliente NTP (Network Time Protocol) para obtener la hora exacta desde un servidor NTP (en este caso, `pool.ntp.org`). Esta hora se usa para generar un *timestamp* en formato RFC3339 y agregarlo a los datos registrados en la base de datos.

6. Lectura de Sensores y Publicación de Datos

- **Sensores de Temperatura y Humedad:** El sistema obtiene datos simulados de temperatura y humedad utilizando el `SensorsController`.
- **Publicación en Firebase:** Los valores de los sensores y la hora actual (en formato `epochTime`) se publican en Firestore en una ruta dinámica basada en la hora (`epochTime`). Esto permite el almacenamiento y acceso a los datos de sensores a lo largo del tiempo.

7. Callback de Firebase para Actualización Remota

- **Stream de Firebase:** El sistema se suscribe a un “stream” de Firebase para recibir actualizaciones en tiempo real. Cada vez que los datos en Firebase cambian (por ejemplo, cuando un usuario modifica la configuración del riego), el sistema recibe estos cambios y actualiza el controlador de aspersores en consecuencia.

- **Callback:** Cuando se recibe una actualización (a través del `streamCallback`), el sistema valida si el estado está activo (`estado = true`), y si es así, actualiza el controlador de aspersores con los nuevos valores de configuración.

8. Control Automático del Aspersor

- El ciclo de riego está controlado por un proceso en FreeRTOS, donde la tarea de riego se ejecuta periódicamente para controlar la activación del aspersor en función de la configuración y las condiciones de humedad.
 - Si la humedad actual es inferior a la humedad mínima, el aspersor se activa.
 - Si la humedad es superior a la humedad máxima, el aspersor se desactiva.
 - Los tiempos de encendido y apagado se gestionan en función de los valores configurados.

9. Flujo de Datos y Funciones Clave

- `setup()`: Se ejecuta una sola vez al inicio del sistema. Conecta a Wi-Fi, Firebase, lee la configuración local, inicializa el controlador de aspersores, publica los valores en Firebase, y prepara la sincronización NTP.
- `loop()`: Se ejecuta repetidamente. Recoge los datos de los sensores de temperatura y humedad, actualiza la hora desde NTP, y publica los datos de los sensores en Firebase.
- `streamCallback()`: Se ejecuta cuando hay una actualización de la configuración desde Firebase. Actualiza el controlador de aspersores con los nuevos valores de configuración.

10. Control de Tareas de Riego (FreeRTOS)

- **Tareas de FreeRTOS:** El controlador de aspersores maneja el encendido y apagado del riego en una tarea paralela (`xTaskCreate`), lo que permite ejecutar el ciclo de riego de manera eficiente sin bloquear otras tareas.

XIII. PRUEBAS DE SIMULACIÓN

XIII-1. Diseño de interfaz de usuario (UI): El diseño de la interfaz de usuario para la aplicación móvil se ha centrado en ofrecer una experiencia intuitiva y accesible para el usuario. La interfaz facilita la visualización en tiempo real de datos clave, como los niveles de humedad y temperatura del suelo, permitiendo a los usuarios monitorear el estado de su jardín con facilidad. Además, la aplicación incluye funciones para la configuración de horarios de riego, lo que proporciona un control completo sobre el funcionamiento del sistema, adaptándose a las necesidades específicas de cada usuario.

La integración de Firestore y el SDK de Flutter ha sido fundamental en el desarrollo de esta aplicación. Firestore permite almacenar y sincronizar de manera eficiente los datos del sistema de riego en tiempo real, como los niveles de humedad del suelo, y garantiza que estos datos estén siempre actualizados y disponibles en cualquier momento. Esta base de datos en la nube también ofrece acceso centralizado a la información, lo que permite a los usuarios gestionar y controlar el sistema de manera remota, sin importar su ubicación.

Por otro lado, Flutter, al integrarse de forma nativa con Firestore, facilita la creación de una interfaz funcional, atractiva y fácil de usar. Gracias a la capacidad de desarrollo multiplataforma de Flutter, la misma base de código puede ser utilizada para generar aplicaciones tanto para dispositivos móviles como para la web, lo que optimiza significativamente el tiempo y los recursos necesarios para desarrollar aplicaciones en diferentes plataformas. Todo esto, combinado con la flexibilidad que ofrece el entorno de desarrollo, asegura que los usuarios tengan una experiencia fluida y eficiente al interactuar con el sistema de riego inteligente. Como se muestra en la Figura 26, la interfaz de usuario refleja este enfoque, destacándose por su diseño limpio y fácil navegación.



Figura 26. Diseño de interfaz de usuario. Fuente: Autores

XIII-A. Pantalla de inicio aplicación móvil

Esta App está compuesta por diversas pantallas que permiten al usuario interactuar de manera eficiente con el sistema de riego inteligente. Estas pantallas incluyen interfaces para el monitoreo y control del sistema, visualización de datos en tiempo real, así como la configuración de parámetros específicos, como horarios de riego y umbrales de humedad. Como se muestra en la Figura 27, el diseño de la interfaz de usuario está orientado a ofrecer una experiencia intuitiva y fácil de navegar, asegurando que los usuarios puedan supervisar y ajustar el funcionamiento del sistema de manera ágil y cómoda desde sus dispositivos móviles.

XIII-B. Pantalla de Sensores

Muestra gráficas de temperatura y humedad en tiempo real, obtenidas desde Firestore.

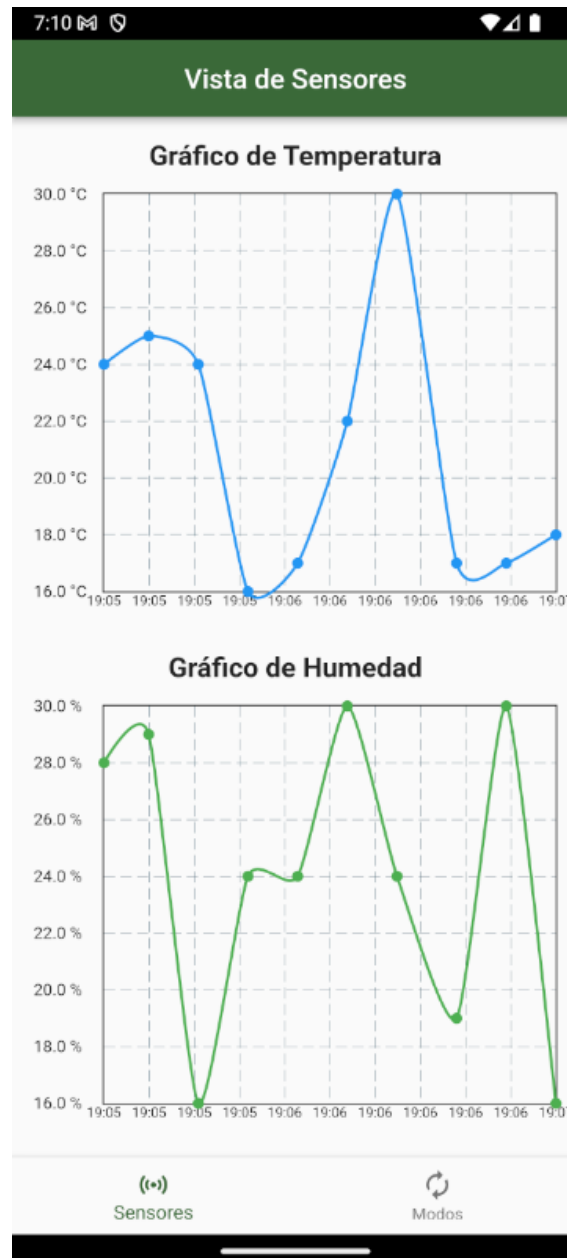


Figura 27. Gráfico humedad y temperatura. Fuente: Autores

XIII-C. Pantalla de Modos

Permite seleccionar entre dos modos: Programable y Automático mediante un toggle switch.

XIII-C1. Modo Programable::

- Inputs para configurar:
 - Tiempo de encendido
 - Unidad de tiempo de encendido (segundos, minutos, horas)
 - Tiempo de apagado
 - Unidad de tiempo de apagado
- Botón para cargar la configuración en Realtime Database.
- Card informativa con los parámetros actuales obtenidos desde Firestore.
- Texto indicando “Modo no activado” si no está seleccionado.

XIII-C2. Modo Programable::

- Inputs para configurar:
 - Tiempo de encendido
 - Unidad de tiempo de encendido (segundos, minutos, horas)
 - Tiempo de apagado
 - Unidad de tiempo de apagado
- Botón para cargar la configuración en Realtime Database.
- Card informativa con los parámetros actuales obtenidos desde Firestore.
- Texto indicando “Modo no activado” si no está seleccionado.

- Para más detalles, consultar la Figura 28 y la Figura 29.



Figura 28. Modos de pantalla. Fuente:Autores



Figura 29. Modos de pantalla. Fuente:Autores

XIII-C3. Modo Automático::

- Inputs para configurar:
 - Humedad máxima
 - Humedad mínima
- Botón para cargar la configuración en Realtime Database.
- Card informativa con los parámetros actuales obtenidos desde Firestore.

- Texto indicando “Información no cargada” si no hay configuración activa.
- Para más detalles, consultar la Figura 30 y la Figura 31.



Figura 30. Modos de pantalla. Fuente:Autores

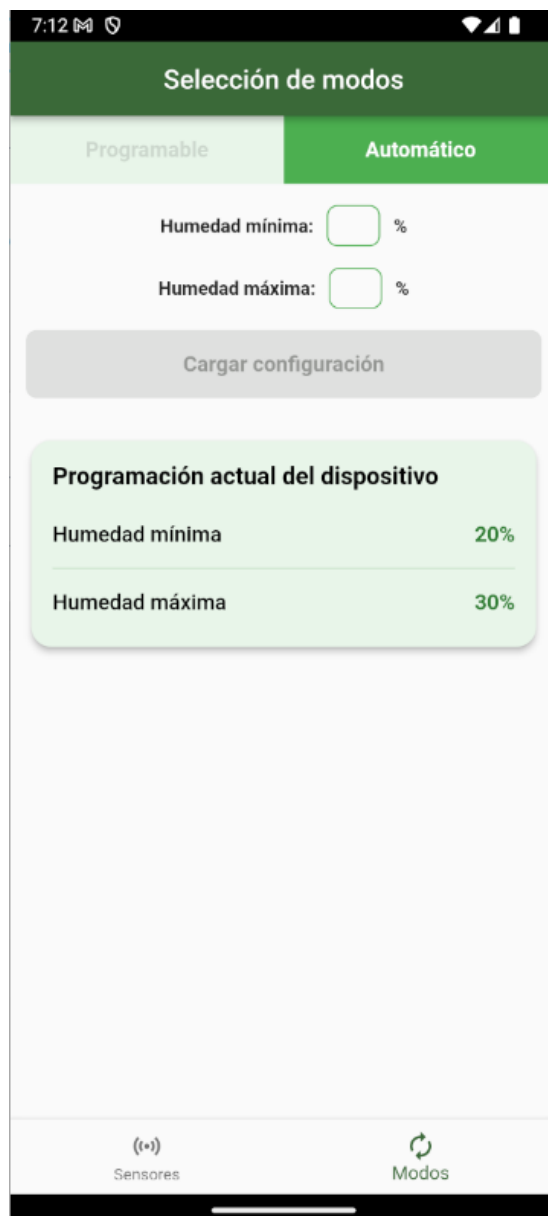


Figura 31. Modos de pantalla. Fuente:Autores

XIV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema de riego automatizado e inteligente para jardines urbanos demuestran la eficacia de su diseño, implementación y funcionalidad, cumpliendo los objetivos planteados. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes relacionados con cada uno de los componentes clave del sistema.

El sistema hidráulico fue implementado utilizando tuberías flexibles, electroválvulas y conectores diseñados específicamente y fabricados mediante impresión 3D. Estos conectores garantizaron una instalación robusta y a prueba de fugas, adecuada para las condiciones operativas del sistema. Las electroválvulas, controladas mediante un circuito electrónico, respondieron correctamente a las señales enviadas desde el microcontrolador ESP32, permitiendo un flujo de agua dosificado y preciso. Como podemos apreciar en la Figura 32



Figura 32. Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores

XIV-A. Retroalimentación de sensor

El sensor LY100, al estar directamente insertado en el suelo, mide con precisión la humedad del sustrato, proporcionando datos en tiempo real sobre el nivel de agua disponible para las plantas. Esta información es fundamental, ya que se complementa con las mediciones del sensor DHT11, encargado de registrar la temperatura y la humedad del ambiente. La retroalimentación entre ambos sensores permite refinar el análisis de las condiciones climáticas y del suelo, optimizando el funcionamiento del sistema de riego. De este modo, se garantiza una dosificación más precisa del agua, evitando el desperdicio y asegurando un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas. Como podemos observar en las figuras 33 y 34



Figura 33. Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores



Figura 34. Prueba en condiciones reales . Fuente: Autores

XIV-B. Resultados de la Implementación del Sistema de Riego Inteligente

Para evaluar la efectividad del sistema de riego inteligente, se realizó una comparación entre dos secciones del mismo jardín urbano. En una de ellas se implementó el sistema propuesto, mientras que en la otra se mantuvo el riego manual tradicional. A través de esta metodología, se analizaron los cambios en la salud y apariencia de las plantas, así como la eficiencia en el consumo de agua.

XIV-C. Condiciones Iniciales y Metodología de Evaluación

Antes de la implementación, ambas secciones del jardín presentaban condiciones similares en cuanto a humedad del suelo, exposición solar y tipo de vegetación. Se registraron datos iniciales de humedad del suelo, temperatura ambiente y frecuencia de riego. El monitoreo se realizó durante un periodo de varias semanas, permitiendo obtener resultados concluyentes sobre el impacto del sistema.

XIV-D. Comparación de Resultados

En la imagen 35 , se observa una sección del jardín que no contó con el sistema de riego inteligente. Las plantas presentan un crecimiento irregular, con menos follaje y una reducción significativa en la cantidad de flores. Además, se nota una distribución heterogénea de la humedad en el suelo, lo que ha generado zonas secas y otras sobresaturadas.



Figura 35. Comparacion del sistema. Fuente: Autores

En la imagen 36 , correspondiente a la sección del jardín donde se aplicó el sistema, se evidencia una mejora notable en la salud de la vegetación. Las plantas presentan una mayor densidad de hojas y flores, reflejando un desarrollo homogéneo. Además, la uniformidad en el riego ha permitido una distribución equitativa de la humedad en el suelo, evitando problemas como el exceso o la deficiencia de agua.



Figura 36. Comparación del sistema. Fuente: Autores

XIV-E. Impacto en el Consumo de Agua

Uno de los resultados más significativos fue la reducción del consumo de agua en la sección automatizada. Gracias a la programación del sistema y al uso de sensores de humedad, se evitó el desperdicio de agua, permitiendo una irrigación precisa y adaptada a las necesidades de las plantas. En comparación con el riego manual, se registró una disminución del consumo de agua, contribuyendo a la sostenibilidad del jardín.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de riego inteligente mejora significativamente la calidad y estética de los jardines urbanos. La implementación del sistema permitió un crecimiento más saludable de la vegetación, una optimización en el uso del agua y una reducción en la necesidad de intervención humana. Estas evidencias respaldan la viabilidad y efectividad del sistema propuesto, alineándose con los objetivos de la investigación.

Tabla I
COMPARACIÓN DEL ESTADO DEL JARDÍN ANTES Y DESPUÉS DEL SISTEMA DE RIEGO

Parámetro	Antes del sistema	Después del sistema
Consumo de agua (L/semana)	Alto (estimado en 20L)	Bajo (estimado en 10L)
Nivel de humedad del suelo (%)	25 % (bajo)	45 % (óptimo)
Estado del follaje	Hojas opacas y menos densas	Hojas más verdes y abundantes
Cantidad de flores	Escasa floración	Floración abundante
Frecuencia de riego manual	Diaria o interdiaria	Casi nula
Estrés del encargado	Alto (necesidad de monitoreo constante)	Bajo (riego automatizado)

En el ámbito de la integración tecnológica, se desarrolló una plataforma IoT que incluye una aplicación móvil implementada con Flutter y conectada a Firestore como base de datos en la nube. Esta aplicación permite a los usuarios supervisar y controlar el sistema de riego de manera remota, visualizando en tiempo real variables clave como la humedad del suelo y la temperatura ambiental. Durante las pruebas, la aplicación móvil mostró un funcionamiento estable y sincronización eficiente con el hardware del sistema. Como podemos observar en la imagen 37

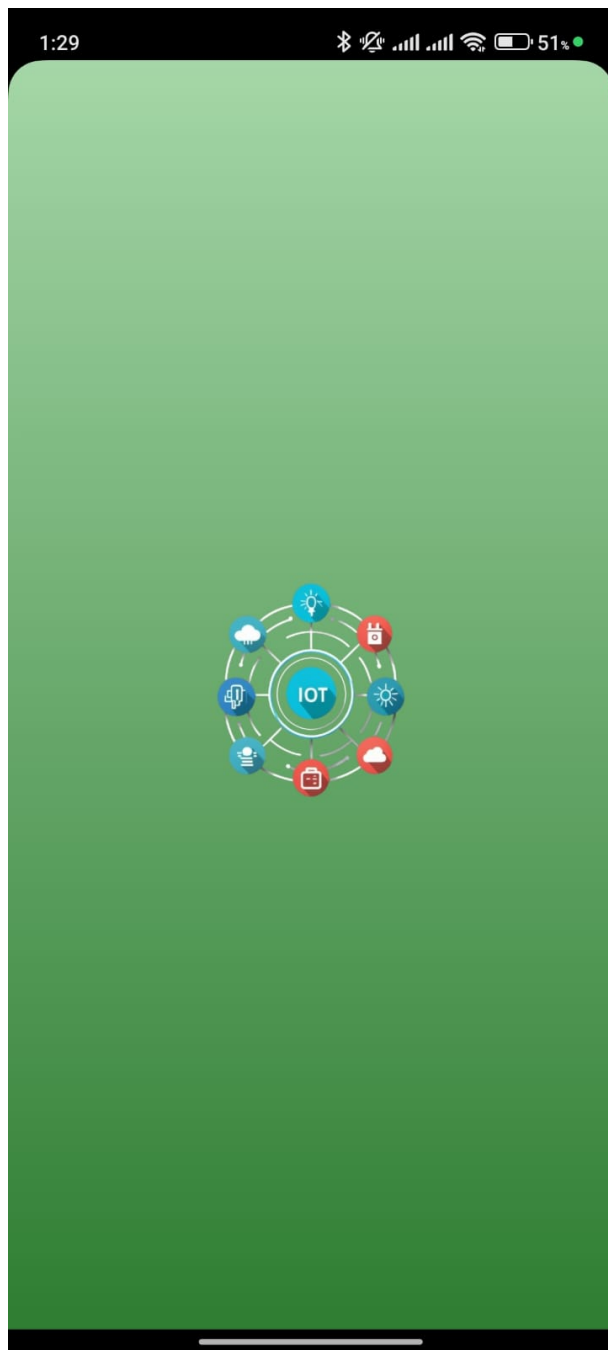


Figura 37. Inicio de la aplicación . Fuente: Autores

La operación del sistema fue validada mediante pruebas que demostraron su capacidad para ajustar automáticamente el riego en función de las condiciones del entorno. Los sensores implementados registraron las variables de humedad y temperatura con precisión, enviando los datos al microcontrolador y almacenándolos en la nube para su posterior análisis. Este enfoque asegura una optimización en el uso de recursos y una mejora en la salud de las plantas al evitar riegos innecesarios.

En resumen, el sistema desarrollado integra de manera efectiva los componentes hidráulicos, electrónicos y tecnológicos, ofreciendo una solución automatizada y eficiente para el riego en jardines urbanos. Estos resultados validan su viabilidad técnica y su potencial impacto positivo al reducir la intervención humana y mejorar la sostenibilidad en el uso de recursos hídricos.

XIV-F. Pruebas en condiciones reales

A continuación, se presentan los datos en tiempo real obtenidos mediante la aplicación y registrados en la base de datos. Como se observa, la temperatura es de 30 °C y la humedad relativa es del 97 %. Como podemos observar en la imagen 38

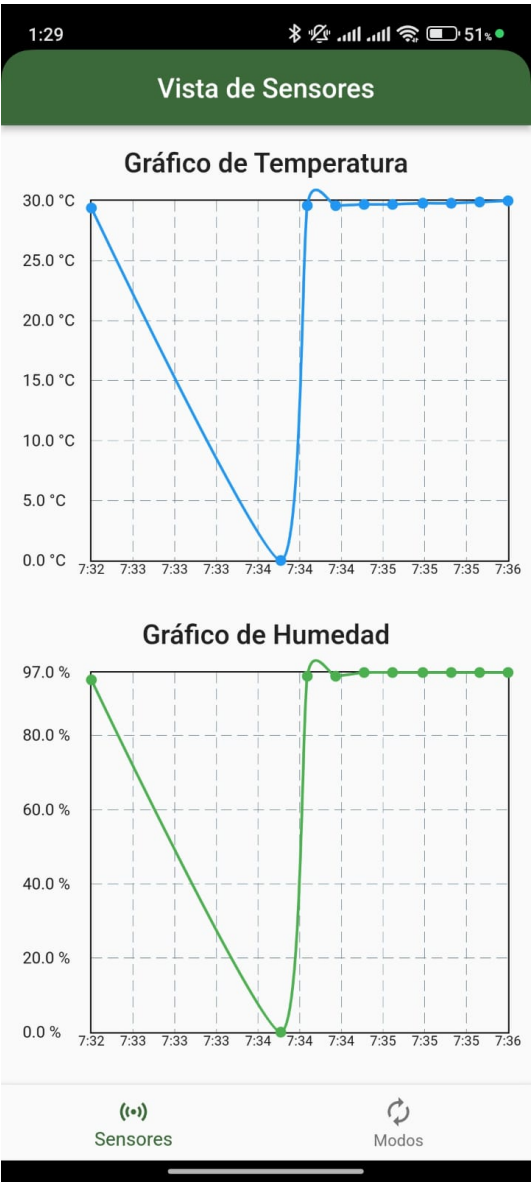


Figura 38. Inicio de la aplicación . Fuente: Autores

A su vez, se puede observar en la base de datos de Firebase cómo estos valores están organizados dentro de la colección denominada *Data*, donde cada documento está identificado por un identificador único generado automáticamente. En el caso mostrado, el documento contiene los campos *hum* con un valor de 97, *temp* con un valor de 29,9, y un campo adicional *time*, que registra la fecha y hora exacta del dato: 17 de enero de 2025 a las 12:36:05 p.m., con la zona horaria UTC-5.

Además, en la colección se encuentran configurados parámetros adicionales, como los valores máximos y mínimos de humedad (*humedad-max* y *humedad-min*), junto con datos de configuración como el modo (*mode*) y los tiempos de encendido y apagado del sistema (*tiempo-encendido* y *tiempo-apagado*), lo que permite una operación personalizada y eficiente del sistema de riego. Como podemos observar en la imagen 39

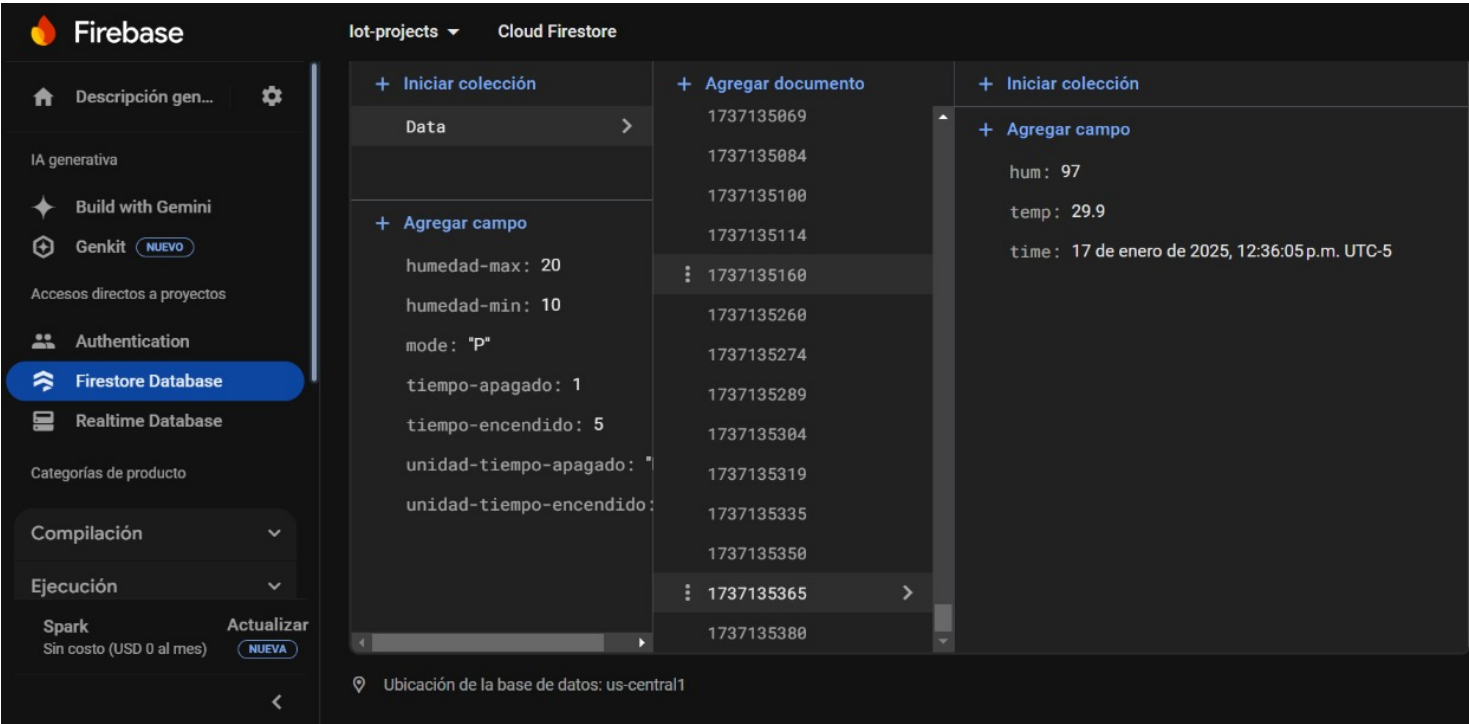


Figura 39. Datos en la nube . Fuente: Autores

XV. CRONOGRAMA

A continuación se muestra la tabla de cronograma

Tabla II
TABLA DE CRONOGRAMA

Actividad	Duración (Semanas)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fase 1: Creación del módulo de medición de humedad								
Selección de componentes y esquema eléctrico	X	X						
Conexión de componentes y pruebas iniciales		X	X					
Desarrollo de software del módulo de medición			X	X				
Diseño y ensamblaje de la caja contenedora				X				
Pruebas finales del módulo de medición					X			
Actualización de la memoria						X		
Fase 2: Creación del módulo de riego automático								
Selección de componentes y esquema eléctrico				X	X			
Conexión de componentes y pruebas iniciales					X	X		
Desarrollo de software para el módulo de riego						X	X	
Diseño y ensamblaje de la caja contenedora							X	
Pruebas finales de riego							X	
Actualización de la memoria								X
Fase 3: Programación de firmware para el módulo IoT en la ESP32								
Configuración inicial y programación del firmware				X	X			
Integración con Firestore					X	X		
Pruebas de funcionamiento del firmware						X	X	
Actualización de la memoria								X
Fase 4: Desarrollo de la aplicación IoT								
Selección de tecnologías (Flutter y Firestore)	X							
Desarrollo de la aplicación móvil		X	X	X	X			
Pruebas finales de la aplicación					X	X		
Actualización de la memoria							X	

XVI. PRESUPUESTO

A continuación se muestra la tabla de presupuesto

Tabla IV
PRESUPUESTO ESTIMADO DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS

N°	Componente	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
1	Electroválvula	2	15.00	30.00
2	Microcontrolador	1	12.00	12.00
3	Fuente de voltaje	1	10.00	10.00
5	Tuberías flexibles	10 metros	1.50	15.00
6	Sensores de humedad	2	8.00	16.00
7	Materiales de conexión	1 set	5.00	5.00
8	Caja contenedora	1	20.00	20.00
9	Impresión 3D	1	10.00	10.00
10	Movilización y snacks	–	–	20.00
Total				138.00

XVII. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [1] Z. TORREZ CALLIMIA, «PROTOTIPO DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO,» 2020.
- [2] C. D. García Cuadrado, J. M. Rojas Soto et al., «Sistema de riego automatizado para mejorar la productividad en cultivos de tomates en casa,» 2023.
- [3] G. C. G. Zambrano, E. P. D. Laaz, J. V. Molina y G. V. Santillán, «Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes: Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias,» *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, vol. 5, n.º 2, págs. 93-102, 2021.
- [4] C. C. Washington Bladimir y C. V. Vanessa Alexandra, «Prototipo de riego inteligente para invernaderos de rosas usando la técnica de redes neuronales,» B.S. thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2021.
- [5] D. G. Villazante Choque et al., «Diseño de un sistema de riego autónomo e inteligente con capacidad de monitorear variables climáticas,» Tesis doct.
- [6] N. T. V. Ureta, J. L. A. Bernal y M. E. C. Centano, «Application of Binodal Logic in the Development of a Sequence of Pneumatic Cylinders Using a Didactic Briefcase,» en *2023 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 2023, págs. 1-6. DOI: 10.1109/CHILECON60335.2023.10418764.
- [7] A. Anaya-Isaza, D. H. Peluffo-Ordoñez, J. Ivan-Rios, J. A. Castro-Silva, D. C. Ruiz y L. E. Llanos, «Sistema de Riego Basado en la Internet de las cosas (IoT),» *Conferencias Internacionales FICA*, 2016.
- [8] F. Vásquez Perdomo, «Tratamiento de aguas residuales, por sistema compacto de aireación extendida para el riego de areas verdes en el distrito de Comas,» 2020.
- [9] E. A. Q. Montoya, S. F. J. Colorado, W. Y. C. Muñoz y G. E. C. Golondrino, «Propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión soportada en IoT,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, n.º 24, págs. 39-56, 2017.
- [10] P. Parra, T. Negrete, J. Llaguno y N. Vega, «Computer Vision Methods in the Process of Fermentation of the Cocoa Bean,» en *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 2018, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ETCM.2018.8580345.
- [11] D. R. Ascencios Templo, «Eficiencia hídrica, energética y emisiones CO2 utilizando sistemas de riego presurizado en las áreas verdes de la UNALM,» 2021.
- [12] M. A. Chugá Rosero, «Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente y monitoreo de variables edafológicas y meteorológicas activado por IOT,» 2022.
- [13] D. I. Guambo Alvarado y D. C. Ordoñez Pilay, «Desarrollo de un sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IOT,» B.S. thesis, 2023.
- [14] L. Loaiza, W. Villota, V. Peñaranda, M. Cardenas y N. Vega, «Application of a Neural Network to Feed Bag Tag Detection Systems,» en *2024 IEEE International Conference on Automation/XXVI Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 2024, págs. 1-5. DOI: 10.1109/ICA-ACCA62622.2024.10766840.
- [15] P. A. Carrillo Pasiche y A. Miranda Gutarra, «Sistema de riego inteligente y ecológico para las áreas verdes en Lima Metropolitana utilizando IoT,»
- [16] V. L. Colantonio, «Sistema de riego inteligente con Bluetooth e IoT para el cuidado de plantas,» 2023.
- [17] M. E. Astudillo Castillo, «Diseño e implementación de un sistema de riego IOT para sembríos de maíz,» B.S. thesis, 2024.
- [18] C. A. Mosquera Barrionuevo, «Aplicación de la tecnología iot (internet of things) para la medición de variables hidrometeorológicas en la agricultura sostenible: optimización del recurso hídrico mediante la tecnología iot a través del sensor de nivel de agua, esto con el fin de evitar un sobre exceso o un déficit de este recurso durante el riego de los cultivos de ciclo corto aplicado hacia una agricultura sostenible,» B.S. thesis, Quito: EPN, 2022., 2022.
- [19] H. E. Cedeño Chávez, A. D. García Villavicencio et al., «Diseño del sistema de riego para las áreas verdes en la zona de ingeniería de la ESPOL,» *ESPOL. FICT*, 2022.

- [20] D. A. A. Pulido, «Diseño de un sistema de riego automatizado para huertas caseras con IoT,» *Revista Sennova: Revista Del Sistema De Ciencia, Tecnología E Innovación*, 2022.
- [21] R. D. Yalle Arce, «Automatización y telecontrol del sistema de riego para las áreas verdes del templo Santos de los Últimos Días-Arequipa,» 2021.
- [22] RoboticSec, *Sensor de Humedad y Temperatura DHT11*, Último acceso: 29 de diciembre de 2024, 2024. dirección: <https://roboticsec.com/producto/sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11/>.
- [23] O. Electronics, *Módulo NodeMCU Bluetooth WiFi ESP32 WROOM32*, Último acceso: 29 de diciembre de 2024, 2024. dirección: <https://orellanaelec.com/producto/modulo-nodemcu-bluetooth-wifi-esp32-wroom32/>.
- [24] O. Lugo Espinosa, A. Quevedo Nolasco, J. R. Bauer Mengelberg, D. H. d. Valle Paniagua, E. Palacios Vélez y M. Águila Marín, «Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo,» *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 2, n.º 5, págs. 659-672, 2011.
- [25] H. A. Vilchez Chumpitaz, «Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para una hectárea de cultivo de durazno en el distrito de La Isla-Asia, Cañete,» 2020.
- [26] S. H. TIBANQUIZA GUATO, «AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA FLORÍCOLA LOS ÁNGELES ROSES,» B.S. thesis, Quito, 2020.
- [27] J. L. Ortiz Cáceres, «Desarrollo de un prototipo de un sistema de riego automatizado para el procesamiento, monitoreo y análisis de datos utilizando lógica difusa en tiempo real e IoT para optimizar el uso de agua aplicada en el cultivo,» B.S. thesis, 2021.
- [28] Mactrónica, *Sensor de Humedad del Suelo YL-100*, Último acceso: 30 de enero de 2025, 2025. dirección: <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-humedad-del-suelo-yl-100>.
- [29] M. Muncharaz Pou, *Proyecto y diseño de áreas verdes*. Ediciones Mundi-Prensa, 2013.
- [30] P. F. J. Guamán y J. B. C. Mejía, «Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube,» *Polo del conocimiento: Revista científico-profesional*, vol. 5, n.º 1, págs. 443-458, 2020.
- [31] J. I. V. Luna, F. J. S. Rangel, G. S. Guzmán, M. A. L. Acosta, V. N. T. Vargas y J. F. C. Aceves, «Construcción de un prototipo de un sistema de riego y ventilación de un invernadero bajo el concepto de iot (construction of a prototype of an irrigation and ventilation system of a greenhouse under the concept of iot),» *Pistas Educativas*, vol. 42, n.º 137, 2020.
- [32] J. Boluda Segura, «Aplicación de las tecnologías IOT en un sistema de riego en parcela,»
- [33] A. C. Morales-Suárez, S. S. Díaz-Ávila y M. Á. Leguizamón-Páez, «Mecanismos de seguridad en el internet de las cosas Security mechanisms on the internet of things,» *Revista vinculos*, vol. 16, n.º 2, NA-NA, 2019.

XVIII. CONCLUSIONES

En conclusión, se ha completado con éxito el desarrollo del sistema de riego inteligente para el Huerto Urbano de Guayaquil, validando varios conceptos técnicos importantes. La integración de la tecnología IoT y sensores avanzados proporciona un control de riego preciso y eficiente que optimiza el consumo de agua sin comprometer la salud de las plantas.

La implementación de una plataforma IoT con una potente interfaz móvil garantiza un monitoreo y control remoto confiable incluso en condiciones ambientales cambiantes. Esta configuración permite a los usuarios controlar eficazmente el riego, reduciendo la intervención humana y aumentando la sostenibilidad del sistema.

El sistema hidráulico, especialmente diseñado para jardines urbanos, está equipado con un mecanismo de llenado de agua de alta eficiencia. Esta sinergia garantiza un riego eficiente y un excelente rendimiento funcional en una variedad de condiciones ambientales.

La gestión de la energía ha sido cuidadosamente optimizada, garantizando un perfecto equilibrio entre autonomía operativa y capacidad de trabajo. Esto es esencial para mantener ciclos de riego prolongados sin reducir la eficiencia en el uso del agua.

En conjunto, estas innovaciones tecnológicas hacen que los sistemas de riego inteligente sean una solución viable y eficiente para la gestión del agua en jardines urbanos. El proyecto no solo supone un gran avance en la automatización del riego, sino que también establece un nuevo punto de referencia para la sostenibilidad y la eficiencia del mantenimiento de los espacios verdes urbanos.

Aunque todavía hay margen de mejora en el futuro, los resultados actuales son alentadores. Los sistemas de riego inteligente tienen un gran potencial para contribuir a la conservación del agua y al mantenimiento de jardines urbanos saludables al proporcionar una alternativa tecnológica a los métodos de riego tradicionales. Además, demuestra las posibilidades técnicas de utilizar tecnología IoT y sensores avanzados para optimizar el consumo de agua sin comprometer la salud de las plantas. La combinación de una plataforma IoT y una potente interfaz móvil proporciona un control confiable en una variedad de condiciones ambientales. Asimismo, la selección de sistemas hidráulicos adecuados para jardines urbanos, combinada con un diseño eficiente del sistema de suministro de agua y una gestión optimizada de la energía, garantiza un equilibrio efectivo entre autonomía operativa y capacidades funcionales, posicionando al sistema de riego inteligente como una solución innovadora y sostenible para la gestión del agua urbana.

XIX. RECOMENDACIONES

Para aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de riego inteligente en jardines urbanos, se recomienda el mantenimiento periódico de los sensores y componentes de IoT. Esto incluye la calibración periódica de los sensores de humedad y temperatura, así como la actualización del software de la plataforma IoT para garantizar un rendimiento óptimo. Además, se recomienda realizar pruebas operativas en diferentes condiciones ambientales para ajustar y mejorar continuamente el sistema. Involucrar a los usuarios en el proceso de seguimiento y control a través de formación y manuales de uso también ayudará a gestionar el riego de forma más eficaz y consciente, promoviendo prácticas sostenibles y responsables en la jardinería urbana.

ANEXO B
PLANO FUSIÓN 360

Planos de las piezas acotadas en Fusión 360:

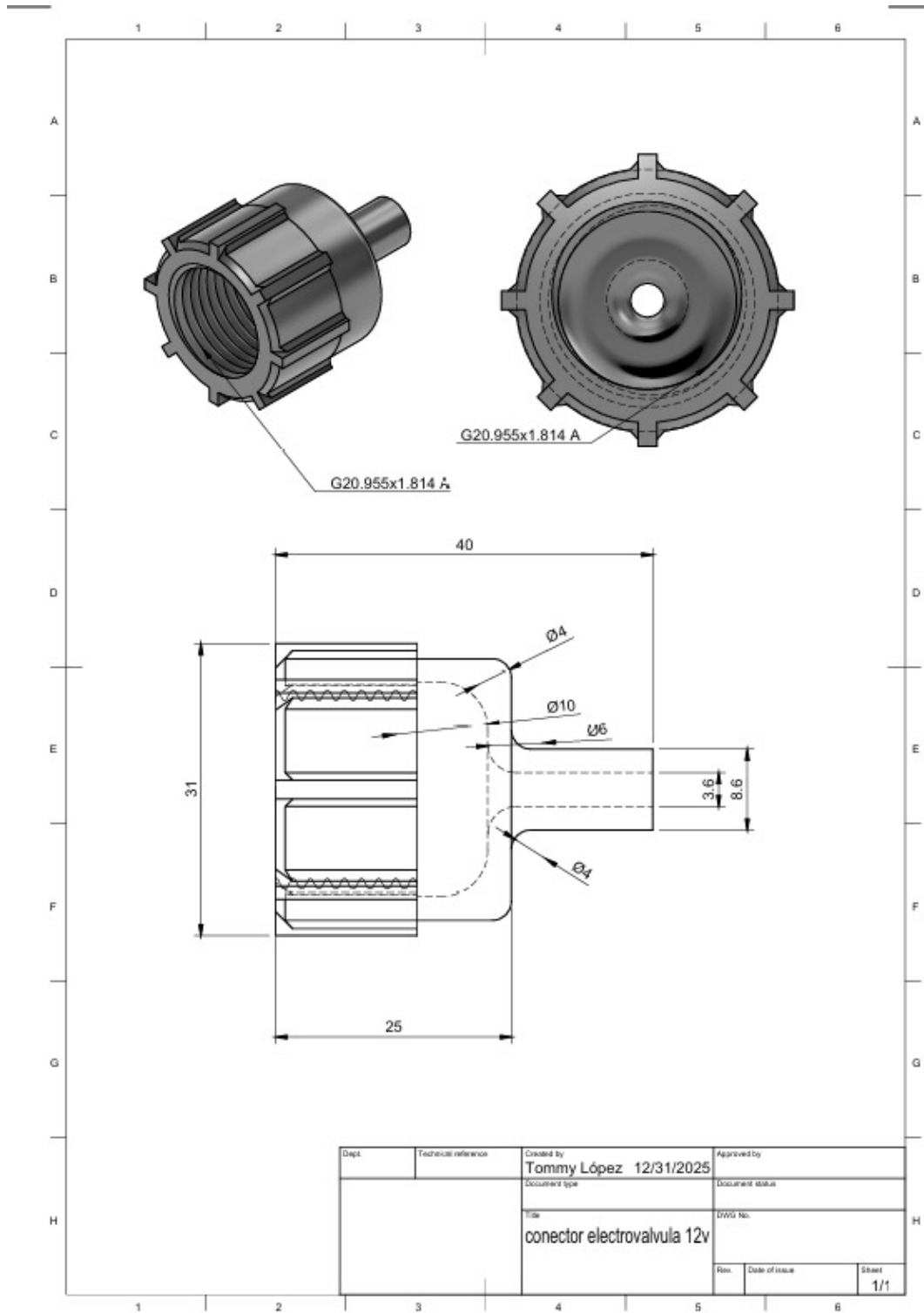


Figura 41. Plano conector, Autores: Autodesk Fusion360

ANEXO C
CAJA DE CONTROL

CAJA DE CONTROL



Figura 42. Caja de control

ANEXO D
CAJA DE CONTROL

CAJA DE CONTROL

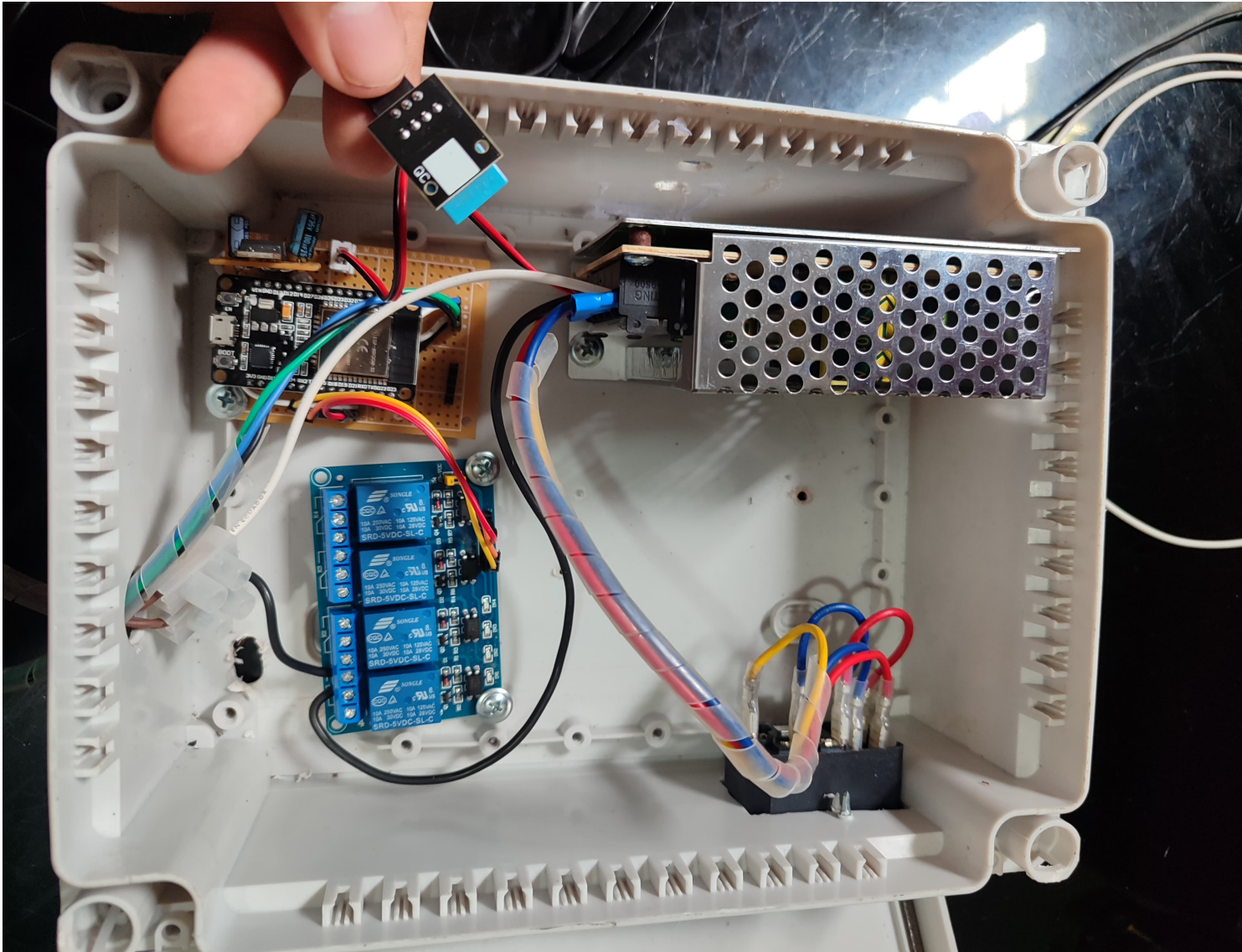


Figura 43. Caja de control