



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE
RIEGO AUTOMATIZADO PARA POTREROS, BASADOS EN SENSORES DE
TEMPERATURA, HUMEDAD, NPK, IOT CON CONTROL PID”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero(a) en Electrónica

AUTOR: ANDAGANA DE LA CRUZ CLAUDIO WLADIMIR

ALTAFUYA ARTURO ISAAC ISRAEL

TUTOR: ORLANDO BARCIA AYALA

Guayaquil - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Isaac Israel Altafuya Arturo con documento de identificación N° 0951876259 y Claudio Wladimir Andagana De La Cruz con documento de identificación N° 1805811039; manifestamos que:

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

Guayaquil, 18 de febrero del año 2025

Atentamente,



Isaac Israel Altafuya Arturo

0951876259



Claudio Wladimir Andagana De La Cruz

1805811039

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Isaac Israel Altafuya Arturo con documento de identificación No. 0951876259 y Claudio Wladimir Andagana de la Cruz con documento de identificación No. 1805811039 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 de Proyecto Técnico: **“DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA POTREROS, BASADOS EN SENSORES DE TEMPERATURA, HUMEDAD, NPK, IOT CON CONTROL PID”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ing. Electrónica y Automatización, 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, 18 de febrero del año 2025

Atentamente,



Isaac Israel Altafuya Arturo

0951876259



Claudio Wladimir Andagana
De La Cruz

1805811039

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Orlando Barcia Ayala con documento de identificación N° 1309445714, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA POTREROS, BASADOS EN SENSORES DE TEMPERATURA, HUMEDAD, NPK, IOT CON CONTROL PID** realizado por Isaac Israel Altafuya Arturo con documento de identificación N° 0951876259 y por Claudio Wladimir Andagana De La Cruz con documento de identificación N° 1805811039, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. Orlando Giovanni Barcia Ayala, Msc
1309445714

AGRADECIMIENTO

Este trabajo representa no solo el final de una etapa, sino el inicio de nuevas oportunidades. Agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para alcanzar esta meta. A mi familia, en especial a mis padres, Martha Fabiola De La Cruz Sisa y Jorge Eduardo Andagana Guananga, quienes con su ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis profesores y asesores, por compartir su conocimiento y guiarme con paciencia. A mis amigos, quienes con su apoyo incondicional hicieron que este camino fuera más llevadero. Cada uno de ustedes ha sido parte fundamental de este logro, y por eso les estaré eternamente agradecido.

Claudio Andagana D.

Agradezco al todo poderoso por darme las fuerzas y el entendimiento para poder culminar mi etapa universitaria, a mis familiares que con su apoyo pude terminar un ciclo tan importante para mi futuro, a lo largo de este camino tan bonito lleno de sabiduría y aprendizaje pude saber que es el amor afectivo al demostrarme que verdaderamente me aman instruyéndome de la mejor manera. Viviré agradecido por brindarme esta oportunidad.

Isaac Altafuya A.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la paciencia para enfrentar cada desafío en este camino académico. Sin Su guía, nada de esto habría sido posible. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio, que han sido mi mayor inspiración y motivación. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Claudio Andagana D.

Le dedico mi esfuerzo y perseverancia a mis familiares, especialmente a mi madrecita Mirian Ines Arturo Maila ya que ha sido un pilar fundamental en todo este largo y victorioso proceso, así mismo a mi hermana Tania Yanina Altafuya Arturo que con sus consejos y buena voluntad me hizo saber que yo si lo iba a lograr y les iba a brindar esta alegría. A mi padre Wilman Power Altafuya Loor que siempre estuvo para mí a pesar de todas las adversidades y sucesos que conllevaron a que este sueño se haga realidad, para finalizar a todos aquellos que me brindaron su granito de arena para lograr mi primera y gran meta en la vida.

Isaac Altafuya A.

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO	TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN
2025	CLAUDIO WLADIMIR ANDAGANA DE LA CRUZ ISAAC ISRAEL ALTAFUYA ARTURO	MSC. ORLANDO BARCIA	“DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA POTREROS, BASADOS EN SENSORES DE TEMPERATURA, HUMEDAD, NPK, IOT CON CONTROL PID”

Este proyecto se centra en el desarrollo y simulación de un sistema de riego automatizado inteligente para potreros, basado en la integración de sensores de temperatura, humedad y nutrientes del suelo (NPK), así como conectividad IoT y control PID. La propuesta se presenta como una respuesta a las deficiencias de los métodos de riego convencionales que muchas veces fallan, generando el desperdicio de agua y otros recursos, limitando el desarrollo sustentable de las actividades agrícolas.

Este proyecto consiste en el desarrollo y simulación de un prototipo utilizando un PLC Siemens S7-1200, donde se programa un sistema de control PID para ajustar y mantener los niveles de riego de acuerdo con las necesidades específicas del terreno. Además, también cuenta con conectividad IoT incorporada, lo que permite monitorear las operaciones del sistema en tiempo real y ajustar parámetros como el caudal, el intervalo y la duración del riego desde cualquier dispositivo móvil.

El suelo se monitorea mediante sensores de humedad, temperatura y NPK que proporcionan datos sobre las condiciones del suelo. La programación se realiza dentro del entorno TIA Portal, mientras que la monitorización y control remoto del sistema se gestiona mediante la aplicación Ubidots. El riego por aspersión está controlado por algoritmos diseñados para garantizar una distribución eficiente del agua, asegurando una cobertura uniforme de las parcelas. Además, el sistema incluye una interfaz móvil intuitiva que permite al agricultor monitorear y gestionar el riego de forma remota, optimizando el tiempo y los recursos dedicados a la agricultura.

Palabras claves: Riego automatizado, sistema inteligente, IoT, monitoreo remoto, potreros

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2025	CLAUDIO WLADIMIR ANDAGANA DE LA CRUZ ISAAC ISRAEL ALTAFUYA ARTURO	MSC ORLANDO BARCIA	“DEVELOPMENT AND SIMULATION OF AN INTELLIGENT AUTOMATED IRRIGATION SYSTEM FOR PADDOCKS, BASED ON TEMPERATURE, HUMIDITY, NPK, IOT SENSORS WITH PID CONTROL”.

This project focuses on the development and simulation of an intelligent automated irrigation system for paddocks, based on the integration of temperature, humidity and soil nutrient (NPK) sensors, as well as IoT connectivity and PID control. The proposal is presented as a response to the deficiencies of conventional irrigation methods that often fail, generating waste of water and other resources, limiting the sustainable development of agricultural activities.

This project consists of the development and simulation of a prototype using a Siemens S7-1200 PLC, where a PID control system is programmed to adjust and maintain irrigation levels according to the specific needs of the field. In addition, it also has built-in IoT connectivity, which allows monitoring system operations in real time and adjusting parameters such as flow rate, interval and duration of irrigation from any mobile device.

Soil is monitored by moisture, temperature and NPK sensors that provide data on soil conditions. Programming is done within the TIA Portal environment, while remote monitoring and control of the system is managed through the Ubidots app. Sprinkler irrigation is controlled by algorithms designed to ensure efficient water distribution, ensuring uniform coverage of the plots. In addition, the system includes an intuitive mobile interface that allows the farmer to monitor and manage irrigation remotely, optimizing the time and resources dedicated to agriculture.

Key words: Automated irrigation, smart system, IoT, remote monitoring, paddocks.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.1.1. Antecedentes.....	2
1.1.2. Importancia y alcances	4
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.1. Temporal.....	4
1.2.2. Geográfica	4
1.2.3. Académica	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1. Sistema de riego.....	6
2.2. Automatización de sistemas de riego.....	6
2.2.1. Sensores de sistema de riego	8

2.2.2.	Tipos de sistemas de riego.....	8
2.3.	Control lógico programable	12
2.4.	Internet de las cosas IoT	13
2.4.1.	Plataformas para IoT	13
2.5.	Control PID.....	15
2.6.	Eficiencia en el uso del agua.....	17
2.7.	Sensor de temperatura y humedad	17
2.8.	Sensor NPK.....	18
2.8.1.	Nutrientes del Suelo (NPK).....	19
2.9.	Bomba 12 V de riego	19
2.10.	Controlador	19
2.11.	Simatic IoT2040.....	20
2.12.	Pantalla HMI.....	21
2.13.	Arduino Uno	22
2.14.	Driver L298N.....	22
2.15.	Otros materiales	23
2.16.	Adaptador de corriente AC-DC	24
2.17.	Identificación de las variables del sistema.....	25
2.17.1.	Variables de entrada.....	25
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Descripción del prototipo.....	27
3.2.	Selección de componentes	27
3.2.1.	Variables de Salida.....	28
3.3.	Diagrama de conexiones.....	30
3.4.	Construcción del sistema automatizado.....	31
3.5.	Programación del controlador en el PLC.....	32
3.5.1.	Conexiones del sistema	32

3.5.2. Implementación del Control PID.....	33
3.5.3. Algoritmo.....	33
3.6. Implementación de la conectividad IoT.....	40
3.6.1. Configuración de la plataforma	41
3.7. Prueba de rendimiento en un entorno controlado	42
3.8. Evaluación y ajustes.....	43
4. RESULTADOS.....	44
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	48
6. PRESUPUESTO	50
7. CONCLUSIONES	51
8. RECOMENDACIONES	52
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
10. ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación gráfica de un sistema de riego automatizado.....	7
Figura 2	Flujo de agua en el suelo a partir de un gotero.	9
Figura 3	Sistema de riego por aspersión.....	10
Figura 4	Riego de agua por filtración.....	11
Figura 5	PID compacto de TIA Portal.....	15
Figura 6	Sensor de Humedad y temperatura	18
Figura 7	Sensor NPK.....	18
Figura 8	Controlador lógico programable	20
Figura 9	Simatic IoT2040.....	21
Figura 10	Pantalla HMI.....	21
Figura 11	Arduino Uno.....	22
Figura 12	Driver L298N.....	23
Figura 13	Bomba de agua.....	24
Figura 14	Adaptador AC-DC.....	25
Figura 16	Diagrama de conexiones	30
Figura 17	Conexión IoT y PLC	32
Figura 18	Bloque estándar para PID	35
Figura 19	Configuración de control PID	37
Figura 20	Lógica de encendido y apagado	38
Figura 21	Encendido manual y automático	38
Figura 22	Encendido de la bomba de forma manual y automática	39
Figura 23	Lectura de los sensores de humedad y temperatura.....	39
Figura 24	Salida de voltaje para bomba con control automático	40
Figura 25	Asignación de las variables para el IoT	40
Figura 26	Supervisión y control del riego automático de potreros.	41
Figura 27	NodeRed.....	42
Figura 28	Pantalla principal del HMI.....	44
Figura 29	Primer subpantalla del HMI.....	44
Figura 30	Segunda subpantalla del HMI.....	45
Figura 31	Tercera subpantalla del HMI.....	45
Figura 32	Monitoreo en tiempo real de la temperatura y humedad	46
Figura 33	Prototipo del potrero	47

Figura 33 Prueba del módulo PLC-S71200.....	59
Figura 34 Proceso de la elaboración de la maqueta 65cm x 65 cm.....	60
Figura 35 Proceso del cableado en el laboratorio.....	61
Figura 36 Pruebas del sistema.	61
Figura 37 Prueba de la plataforma ubidots.....	62
Figura 38 Sistema y los autores.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Capacidad de retención de humedad de suelos.....	26
Tabla 2 Entradas del sistema para TIA Portal.....	35
Tabla 3 Salidas del sistema para tia Portal.....	36
Tabla 4 Tiempo de estabilización del PID	47
Tabla 5 Cronogramas de actividades del proyecto técnico.....	48
Tabla 6 Tabla de presupuesto.....	50

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural agotable, renovable y vulnerable, mismo que es necesario para el bienestar de las personas, para el funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo de la economía (Díaz, 2018). Según El grupo Banco Mundial (2020) en el mundo el 70% de agua extraída se usa mayormente para fines agrícolas. En el Ecuador el porcentaje de agua utilizada para la agricultura es del 82% según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016). Volviéndose este un recurso escaso debido a que el porcentaje aprovechable es cerca del 0.7% del volumen total (Santos , 2019).

En el siguiente contexto, donde los cambios de clima, la falta de agua y la necesidad que tener una producción más activa plantean grandes desafíos, implementar nuevas tecnologías se ha convertido en una necesidad. Los métodos de riego usados tradicionalmente por lo general presentan fallas generando el desperdicio de recursos y limitando el desarrollo sostenible de las actividades agrícolas. Frente a este panorama, implementar sistemas de riego inteligentes basados en sensores y tecnologías IoT ofrecen una solución innovadora y eficaz para abordar estos problemas.

En Latinoamérica, se han realizado investigaciones para abordar la escasez de agua en la agricultura. En Argentina, un estudio implementó Redes Inalámbricas de Sensores (RIS) para monitorear en tiempo real la humedad del suelo, facilitando una mejor gestión del riego. Además, se han desarrollado sistemas automatizados con sensores que optimizan el uso del agua, permitiendo su ahorro y mejorando la calidad de los cultivos (Flores y otros, 2015). En dicho país se han desarrollado otros sistemas de riego automatizado con sensores capacitados para controlar el uso del agua, logrando un ahorro en el consumo y una mejora en la calidad en los productos finales (Schugurensky & Capraro, 2019).

En Perú se realizó una investigación similar, en la cual se desarrolló un sistema automatizado de riego para césped de jardín, utilizando sensores de humedad basados en la tecnología de Reflectometría en Dominios de Frecuencia (FDR). Este sistema es adaptable a diversas condiciones climáticas, tipos de terreno y cultivos, con el objetivo de determinar los momentos precisos para iniciar y finalizar el riego (Varas, 2013). Por otro lado, en Panamá se han propuesto algoritmos de control orientados a resolver los problemas asociados con el consumo de agua, tomando en cuenta las características específicas de las plantas y su entorno. (Collado & Sáez, 2017).

En Ecuador, la economía está fundamentalmente basada en la agricultura. Sin embargo, el manejo inadecuado del agua para riego genera una disminución en la productividad de los cultivos. La implementación de tecnologías de automatización y monitoreo para una gestión eficiente de los recursos hídricos sigue siendo limitada en el país. (Molina y otros, 2022)

A nivel global, los sistemas de riego basados en el Internet de las Cosas (IoT) han demostrado ser capaces de optimizar el uso del agua entre un 20% y un 40% (Nageswara & Sridhar, 2018). Estas soluciones emplean redes de sensores, transmisión de datos inalámbrica y modelos computacionales para determinar las necesidades de riego (Mishra et al., 2018). Aunque presentan numerosos beneficios, la implementación de estos sistemas en países en desarrollo sigue siendo limitada, debido principalmente a los altos costos asociados. Esto genera la necesidad de explorar alternativas más económicas que aprovechen tecnologías fácilmente accesibles, como los teléfonos inteligentes y los microcontroladores. (Malagnino et al., 2021).

Debido a esta problemática, este proyecto se basa en el desarrollo y simulación de un sistema inteligente de riego automatizado para potreros, el mismo que permite controlar y optimizar el uso del agua y los nutrientes presentes. El sistema combina sensores de temperatura, humedad y NPK que sirven para monitorear las condiciones en las que se encuentra el terreno en tiempo real, esto mediante un controlador PID mismo que garantiza la precisión del riego. Además, la tecnología IoT ayuda a tener un control y monitoreo eficiente, permitiendo que los agricultores tengan una herramienta avanzada para mejorar la productividad de los cultivos y la sostenibilidad de sus prácticas.

El proyecto consta de la investigación de sistemas de riego automatizados existentes, el diseño del modelo, simulación del sistema y su evaluación, esto mediante pruebas que aseguren la viabilidad del sistema. Además, busca que la agricultura tenga mayor precisión, aumente su producción, preserve los recursos naturales y reduzca el impacto ambiental.

1.1. PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes

La deficiente gestión del riego en potreros es un problema frecuente en la agricultura, especialmente en países como Ecuador (Ramiro & Gutierrez, 2020). En donde los recursos hídricos son limitados y altamente dependientes de las fluctuaciones del clima. Por ende, la

agricultura tradicional enfrenta una incertidumbre cada vez mayor debido al cambio climático, lo que lleva a períodos de sequía más prolongados e intensos y, en el caso de Ecuador, a una mayor dependencia de la energía hidroeléctrica (García, 2023). Esta situación resulta en cortes periódicos de energía debido a la escasez de precipitaciones, lo que impacta negativamente la capacidad de los agricultores para mantener un suministro continuo y eficiente de agua para sus cultivos y pastos (Caguana, 2020).

En el caso de los pastizales y/o potreros, donde el suministro adecuado de agua es importante para la calidad y cantidad del forraje del ganado, los métodos de riego tradicionales suelen aplicarse manualmente y se basan en criterios empíricos. Esta práctica no sólo conduce a un uso excesivo e innecesario del agua sino también a una distribución desigual de la misma en el suelo, lo que afecta directamente al crecimiento de los pastos y a la capacidad regenerativa del suelo (Fernández, 2018).

Este desequilibrio no sólo afecta negativamente a la productividad agrícola, sino que también aumenta los costos de transacción para los agricultores, quienes se ven obligados a soportar pérdidas económicas debido a una mala gestión de los recursos. (Reynoso, 2022)

Es de suma importancia acotar también que los métodos de riego tradicionales no controlan con precisión las condiciones del suelo, incluida la humedad, temperatura y los nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) (Orlando, 2018). Sin esta información, es imposible determinar cuándo y cuánto regar, lo que resulta en un uso excesivo de agua en momentos innecesarios y menos agua en el suelo durante los períodos críticos (Valenzuela, 2019). Esto no sólo afecta la productividad de la tierra, sino que también contribuye al agotamiento de los recursos hídricos, empeorando la crisis de disponibilidad de agua en el país.

En consecuencia, en estas situaciones es necesario implementar soluciones tecnológicas que optimicen el uso del agua y promuevan una gestión más sostenible de los recursos agrícolas. Un sistema de riego automatizado basado en sensores que monitorean la humedad, temperatura y los niveles de nutrientes del suelo es una opción innovadora y efectiva. Mediante la integración de controladores PID y tecnología IoT.

En este contexto, la automatización del riego de potreros no sólo aborda problemas técnicos asociados con la gestión del agua, sino también cuestiones económicas, sociales y

ambientales más amplias. Estos sistemas tienen el potencial de transformar la forma en que se gestiona el agua en la agricultura, proporcionando una solución sostenible para equilibrar la productividad agrícola y conservar los recursos naturales. Por lo tanto, la introducción de tecnologías avanzadas en el riego de potreros no es sólo una oportunidad sino también una necesidad urgente para asegurar la sostenibilidad del sector agrícola en Ecuador y otros países similares.

1.1.2. Importancia y alcances

La importancia del siguiente proyecto es buscar una solución que ayude al agricultor con la escasez de agua y el cambio climático en potreros. La integración de sensores, IoT y control PID ayudan a tener un riego controlado y automatizado dando beneficios a la productividad, así como a la sostenibilidad de la agricultura.

El sistema incluye el diseño y simulación de un modelo de riego automatizado el cual, mediante el uso de sensores, IoT y un controlador PID garantizaran el control remoto del suelo permitiendo tener un riego más preciso, optimización del recurso hídrico y un suelo con nutrientes necesarios.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Temporal

El proyecto se desarrolló en un periodo de 5 meses, tiempo en el que se realiza el prototipo y las pruebas correspondientes del mismo.

1.2.2. Geográfica

Por motivo de experimentación el estudio se efectúa en el laboratorio de automatización 1 de la UPS sede Guayaquil.

1.2.3. Académica

El siguiente proyecto técnico permite conectar con los conocimientos adquiridos en Robótica e inteligencia artificial combinándolo a su vez con IoT aplicados a la agricultura,

al desarrollar un sistema inteligente de riego de potreros mediante la programación de un PLC a través del cual se gestiona el funcionamiento del sistema incluyendo sensores de temperatura, humedad y NPK mismos que recolectan información en tiempo real referente a las condiciones del suelo. La información se procesa y se envía mediante tecnologías IoT a un servidor para su monitoreo y almacenamiento. Adicional se usa un controlador PID para optimizar el riego, permitiendo tener una precisión y eficiencia en la distribución del agua y nutrientes.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Desarrollar y simular un sistema inteligente de riego automatizado en potreros integrando sensores de humedad, NPK, control PID y conectividad IoT para asegurar y optimizar el suministro hídrico del terreno.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Simular e implementar el prototipo del sistema automatizado de riego utilizando un PLC, que permita controlar los sensores de temperatura, humedad, NPK y otros parámetros del suelo en tiempo real.
- Programar el sistema de control PID en el PLC, para ajustar y mantener los niveles adecuados de riego según las condiciones específicas del terreno, asegurando que no haya exceso ni escasez de agua.
- Implementar conectividad IoT para monitorear remotamente el sistema de riego, permitiendo el ajuste de parámetros (cantidad de agua, intervalos y tiempo de riego) desde un dispositivo.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El estudio de Álvares (2020) propone el desarrollo de un sistema de riego automatizado que emplea paneles solares como fuente principal de energía, garantizando un funcionamiento sostenible en zonas rurales con acceso limitado a la red eléctrica. A través de sensores de humedad y temperatura, el sistema optimiza la cantidad de agua suministrada a los cultivos, reduciendo el desperdicio. La integración con tecnología IoT permite la

supervisión remota mediante dispositivos móviles, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y mejorando la eficiencia del riego agrícola.

Ortiz (2021) aborda la creación de un sistema de riego automatizado que emplea inteligencia artificial y tecnología IoT para optimizar el uso del agua en la agricultura. El prototipo desarrollado integra sensores ambientales y utiliza lógica difusa para procesar datos en tiempo real, permitiendo un ahorro de agua de hasta el 85%. Este enfoque busca mejorar la eficiencia hídrica en cultivos, especialmente en regiones donde el agua dulce es limitada. El sistema ofrece monitoreo y control remoto, facilitando la gestión eficiente de los recursos hídricos por parte de los agricultores.

Astudillo y Carpio (2022) desarrollan un sistema de riego automatizado que optimiza la distribución de agua y nutrientes en cultivos frutales. El sistema integra electroválvulas, bombas eléctricas y tuberías de alta tecnología, controlados mediante un controlador lógico programable (PLC). Para el diseño y simulación del sistema, se emplearon herramientas de software como LabVIEW, Inventor, Eagle y ANSYS. Este enfoque busca innovar los métodos tradicionales de riego, mejorando la eficiencia hídrica y nutricional de las plantaciones, adaptándose a las características específicas de cada cultivo y sus condiciones ambientales.

2.1. Sistema de riego

Los sistemas de riego representan una alternativa eficaz para optimizar el uso del agua, especialmente en áreas agrícolas con escasez hídrica. Para mejorar la producción agrícola a través del riego, es fundamental desarrollar estrategias que maximicen su eficiencia y sostenibilidad:

- Aumento de la eficiencia en un uso del agua disponible.
- Mejoramiento del abastecimiento de agua en las áreas de riego eventual

En un estudio realizado por Pereira (2020) dice que el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

2.2. Automatización de sistemas de riego

La agricultura moderna enfrenta numerosos desafíos relacionados con la eficiencia en el uso del agua, un recurso esencial que enfrenta crecientes presiones debido al cambio

climático, el crecimiento demográfico y la expansión de las actividades agrícolas. En este contexto, la automatización de sistemas de riego, basada en tecnologías avanzadas como los sensores y el Internet de las Cosas (IoT), surge como una solución innovadora y eficiente. Este enfoque permite una gestión precisa del agua, al facilitar el monitoreo en tiempo real de las condiciones del suelo, el clima y el rendimiento hídrico, optimizando el riego de manera autónoma y reduciendo el desperdicio de agua. Investigaciones previas, como la de Robles (2024) ha demostrado que la automatización en el riego mejora significativamente la productividad agrícola al ajustar el suministro de agua a las necesidades específicas del cultivo.

La automatización de los sistemas de riego se refiere al uso de tecnología y controles mecánicos para gestionar la distribución del agua en campos agrícolas, jardines y espacios verdes sin la intervención constante de un operador (Cajamarca & Cevallos, 2022). De acuerdo con estudios realizados por Cherlinka (2024), esta tecnología no solo reduce el uso de agua, sino que también mejora el rendimiento de los cultivos al garantizar un suministro adecuado y oportuno de agua.

Este proceso automatizado permite al sistema regular de forma autónoma la cantidad y frecuencia de riego en función de la información recibida de sensores y parámetros predefinidos como se muestra en la figura 1, optimizando el uso del agua en función de las condiciones del suelo y ambientales (Jiménez, 2024).

Figura 1

Representación gráfica de un sistema de riego automatizado.



Nota. La imagen representa el riego automatizado para jardines. Tomado de (Cajamarca & Cevallos, 2022)

La automatización es útil para reducir el desperdicio de agua, reducir la intervención humana y mejorar el rendimiento de la planta. Los sistemas automatizados pueden incluir componentes como temporizadores, válvulas solenoides, sensores de humedad, sensores de temperatura e incluso sistemas automáticos de fertilización. Su uso abarca desde pequeños jardines hasta grandes granjas, donde la eficiencia hídrica es esencial para la sostenibilidad y la rentabilidad (Rojas, 2023).

2.2.1. Sensores de sistema de riego

Los sensores son componentes esenciales en los sistemas de riego automatizados, ya que proporcionan datos en tiempo real sobre las condiciones del suelo y el ambiente. Entre los sensores más utilizados se encuentran los sensores de humedad del suelo, que permiten determinar la cantidad de agua disponible en la zona radicular, son fundamentales para ajustar el riego en función de las necesidades de la planta. Por otro lado, en un estudio realizado por Lagunas (2020) dice que los sensores de temperatura y humedad ambiental ayudan a prever condiciones que podrían afectar la evapotranspiración y, por ende, la demanda hídrica. Asimismo, los sensores de nutrientes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) proporcionan información crucial sobre el estado nutricional del suelo, permitiendo una fertilización más eficiente y ajustada a las necesidades específicas del cultivo

2.2.2. Tipos de sistemas de riego

Un sistema de riego es la combinación de estructuras que permiten el uso de agua y productos químicos, el principal objetivo de estos sistemas es el de ahorrar agua y energía, para reducir los daños al ambiente el abasto de agua que se debe proporcionar a los cultivos debe ser la necesaria esto debido a que se puede experimentar problema de inundación y de humedad extrema (Intagri, 2019).

Los sistemas de riego se los denomina sistemas de flujo continuo y están divididos en abiertos y cerrados. En el caso de los sistemas abiertos la mezcla de los nutrientes se suministra a los cultivos, dicha mezcla es cambiada con frecuencia, por otro lado, en los sistemas cerrados la mezcla circula por la tubería y se recupera para analizar su concentración de nutrientes debido a pérdidas por la absorción evaporación (Bosques , 2010).

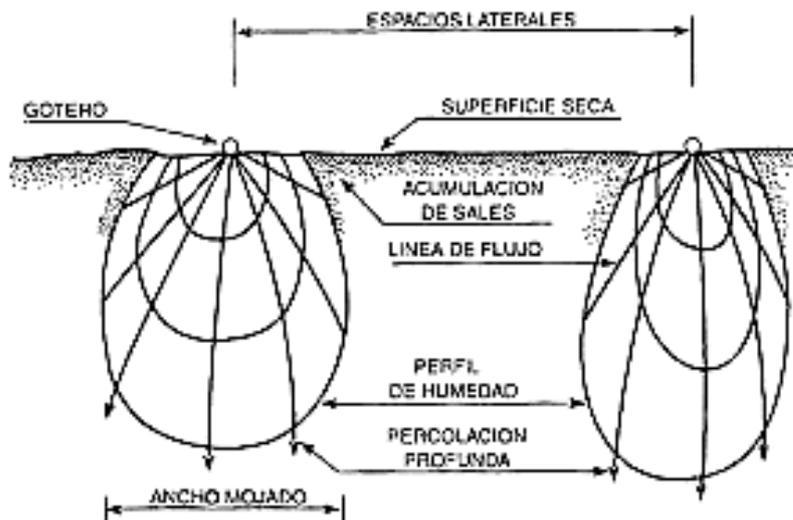
2.2.2.1. Riego por goteo

Gurovich *et al.*, (2019) El riego por goteo es un método que distribuye agua filtrada y fertilizantes directamente en el suelo, cercanos a las raíces de las plantas, eliminando la necesidad de aspersion y optimizando el flujo de agua sobre la superficie del terreno. El agua se libera a baja presión en los puntos de emisión, asegurando una humectación controlada y precisa del suelo en áreas predefinidas.

El agua es distribuida a través de una red de cañerías hasta cada planta, donde los goteros reducen la presión y liberan pequeños volúmenes de agua por hora. Esto limita el movimiento del agua en el suelo tanto horizontal como verticalmente, controlando la zona de humedecimiento como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Flujo de agua en el suelo a partir de un gotero.



Nota. Método por riego de goteo para plantación. Tomado de (Gurovich & Luis, 2019).

El riego por goteo ha sido ampliamente estudiado como una de las técnicas más eficientes para optimizar el uso del agua en la agricultura. Según Casafe (2020), este sistema reduce hasta un 60% el consumo de agua en comparación con métodos tradicionales, al aplicar el líquido directamente en la zona radicular de las plantas, minimizando la evaporación y la escorrentía. Estudios como los de Restrepo *et. al.*, (2021) destacan su eficacia en cultivos extensivos, como los potreros, donde la uniformidad de distribución es

crítica. Además, García (2023) demostraron en un estudio en España que la integración de sensores de humedad en sistemas de goteo incrementa la productividad en un 25%, al ajustar el riego en tiempo real según las necesidades del suelo. Sin embargo, autores como Gálvez y Guzmán (2022) advierten que su implementación requiere una inversión inicial elevada y mantenimiento constante para evitar obstrucciones en los emisores, especialmente en suelos con alto contenido de sedimentos.

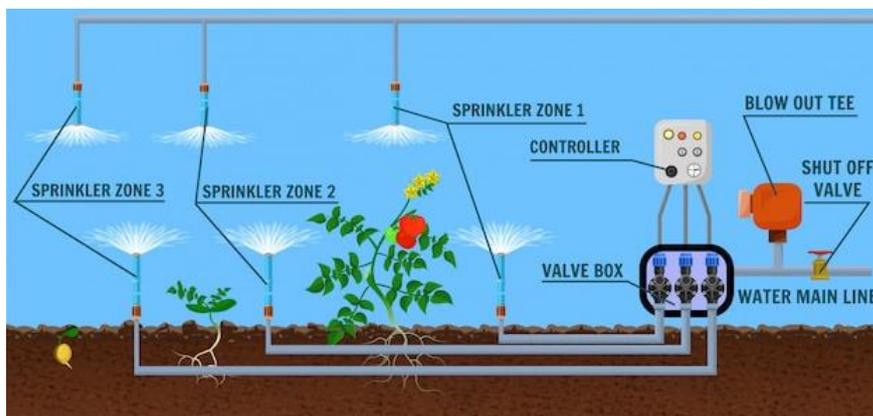
2.2.2.2. Riego por aspersión

Valdivieso (2020) El sistema de riego por aspersión es un método que facilita la distribución de agua a través de tuberías, donde el flujo es conducido a una presión específica, la cual llega a los aspersores que generan gotas de diferentes tamaños, permitiendo regular la cantidad de agua aplicada en forma de precipitación. Un beneficio destacado de este sistema es su eficiencia, que alcanza hasta un 85% en la cobertura de grandes áreas de terreno, además de ofrecer la flexibilidad de ajustar tanto la potencia como la orientación de los aspersores para optimizar el riego.

Una de las desventajas de este método es que requiere de una colocación adecuada de aspersores ya que una incorrecta posición puede dar paso al desperdicio de agua y a la aparición de humedad provocando crecimiento de hongos o enfermedades en los cultivos (MUNDORIEGO, 2022). Su eficacia, adaptabilidad y capacidad para ajustarse a las condiciones del terreno lo convierten en la opción más adecuada para el sistema de riego automatizado del proyecto.

Figura 3

Sistema de riego por aspersión



Nota. Riego por aspersión para cultivos. Tomado de: (Unitonevector, 2010).

El riego por aspersión, caracterizado por su similitud con la lluvia natural, ha sido analizado en múltiples contextos agrícolas. Bonet y Agramonte (2022) resaltan su ventaja en la distribución uniforme del agua, especialmente en terrenos irregulares, aunque señalan que factores como el viento y la evaporación pueden reducir su eficiencia hasta un 30%. Además, encontraron que los sistemas de aspersión modernos, equipados con boquillas de baja presión, logran ahorros de agua del 40% frente a métodos convencionales. No obstante, enfatiza Intagri (2019) que este método es menos eficiente en climas áridos, donde las pérdidas por evaporación superan el 50%. Por lo que proponen combinarlo con tecnologías IoT para activar el riego únicamente durante horas de menor temperatura, estrategia validada en viñedos chilenos con resultados prometedores.

2.1.1.3. Riego por filtración

El método de riego más común es el que se da por filtración, las plantas se encuentran en recipientes con base de sustrato, estos recipientes se sumergen cada cierto tiempo para proporcionar los nutrientes que están mezclados con el agua a través de las raíces de las plantas, mismas que se oxigenan al drenar los recipientes periódicamente (Bosques , 2010).

Figura 4

Riego de agua por filtración



Nota. Uso del método de filtración para preservar los nutrientes en las plantas Tomado de: (Bosques , 2010).

El riego por filtración, también conocido como subsuperficial, ha ganado relevancia en cultivos donde el control preciso de la humedad es esencial. Según Cherlinka (2024) este método es ideal para suelos arcillosos, ya que reduce la formación de charcos y la lixiviación de nutrientes. En un ensayo de Quironga y Faz (2020) reportaron un incremento del 20% en la eficiencia del uso del agua (WUE) al implementar riego por filtración en cultivos de alfalfa. Sin embargo, advierten que su éxito depende de un diseño adecuado de la red de tuberías y de la calidad del agua, ya que partículas en suspensión pueden obstruir los filtros. Para solucionarlo recomiendan incorporar sistemas de filtrado automático y sensores de presión, como se hizo en un proyecto piloto en Israel, logrando una eficiencia del 85%.

2.3. Control lógico programable

El controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo ampliamente utilizado en automatización industrial y sistemas de riego automático. Un controlador programable es una computadora industrial diseñada para realizar funciones de control en sistemas electromecánicos, permitiendo la gestión y regulación automática de procesos. En el contexto de un sistema de riego, el controlador recibe información de sensores (como sensores de humedad y temperatura), interpreta los datos y ejecuta acciones en base a programas preestablecidos (Ventura & Lima, 2024).

Este control permite que el sistema de riego responda inteligentemente a las condiciones del suelo y del clima. Su funcionamiento depende de un ciclo en el que se ejecutan instrucciones que controlan los dispositivos de salida (como válvulas y bombas) en base a señales recibidas de los dispositivos de entrada (sensores), permitiendo una regulación continua y precisa del sistema. La ventaja de los controladores programables radica en su programabilidad, su resistencia a entornos hostiles y su flexibilidad para adaptarse a diferentes procesos y situaciones (Freire & Chávez, 2021).

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) son fundamentales en la automatización de sistemas de riego. Yaguana (2024) destaca su capacidad para integrar sensores (humedad, temperatura) y actuadores (válvulas, bombas) en un único sistema, permitiendo respuestas rápidas ante cambios ambientales. En un estudio de Ayovi (2023) implementaron un PLC en un sistema de riego por aspersión, reduciendo el consumo de agua en un 35% mediante la programación de ciclos adaptativos subrayando que los PLC ofrecen robustez en entornos rurales, resistiendo condiciones adversas como polvo y

humedad, pero su programación requiere personal capacitado, lo que puede limitar su adopción en regiones con escaso acceso a formación técnica.

2.4. Internet de las cosas IoT

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de múltiples dispositivos a través de la red, permitiendo la comunicación entre ellos o mediante la nube. Esto es posible gracias a la reducción de costos en componentes electrónicos como chips y placas de desarrollo, así como a la mejora en la infraestructura de telecomunicaciones, que ofrece mayor ancho de banda y facilita la conexión de millones de dispositivos a internet (Gallardo y otros, 2023).

La integración del IoT en sistemas de riego ha revolucionado la agricultura de precisión. Cuadrado (2022) implementó la tecnología Internet of Things (IoT) con la red de largo alcance LoRa para monitorear variables meteorológicas y optimizar el uso del agua en el riego de cultivos de ciclo corto en Conocoto, Quito-Ecuador. Para evaluar la eficiencia del riego, se establecieron dos parcelas: una con control automatizado y otra sin control. La estación meteorológica cuenta con un gateway y dos nodos (multiparámetro y nivel del agua) equipados con sensores de bajo costo, los cuales recopilan datos y los transmiten en tiempo real al servidor The Things Network, permitiendo su visualización en la plataforma ThingsBoard.. En un proyecto de Mosquera (2022) utilizó sensores IoT conectados a una plataforma en la nube para optimizar el riego en cultivos de cítricos, logrando un aumento del 18% en el rendimiento y un ahorro de agua del 30%. No obstante, advierte sobre desafíos como la latencia en la transmisión de datos y la dependencia de conectividad en zonas remotas. Para abordarlo se propone el uso de redes LoRaWAN, como se implementó en un sistema de riego en India, alcanzando una eficiencia del 92% en la comunicación.

2.4.1. Plataformas para IoT

Una plataforma IoT combina hardware, software, conectividad, almacenamiento de datos y aplicaciones diseñadas para que el usuario final pueda interactuar y analizar la información procesada. Esta información es recopilada previamente por sensores IoT, permitiendo su interpretación y uso eficiente (Sakovich, 2021).

Las plataformas IoT se clasifican según el tipo de servicio que ofrecen, incluyendo aquellas enfocadas en el desarrollo de hardware, aplicaciones, conectividad, análisis de datos y soluciones integrales end-to-end (Sakovich, 2021).

Las plataformas de IoT para el desarrollo de hardware proporcionan interfaces y emuladores para diseñar e interconectar circuitos electrónicos con placas de desarrollo equipadas con una amplia gama de sensores y actuadores, y son muy útiles para probar soluciones de IoT a nivel de hardware. Estos a menudo se combinan e integran con plataformas de desarrollo de aplicaciones que proporcionan un entorno de desarrollo integrado (IDE) que hace que la programación o codificación de aplicaciones sea mucho más fácil (Caguana, 2020).

2.4.1.1.Ubidots

Ubidots es una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) basada en la nube que permite la recolección, visualización y análisis de datos en tiempo real desde sensores y dispositivos conectados. Es ampliamente utilizada para desarrollar soluciones en automatización industrial, monitoreo remoto, agricultura inteligente, domótica, entre otros (Ubidots, 2024).

Características principales de Ubidots

- **Gestión de Dispositivos:** Permite conectar dispositivos IoT a través de protocolos como MQTT, HTTP y TCP/UDP.
- **Dashboards Personalizables:** Ofrece gráficos interactivos, widgets y tableros de control en tiempo real.
- **Automatización con Reglas y Eventos:** Se pueden establecer condiciones para activar alarmas, notificaciones o ejecutar acciones automáticas.
- **API Rest y MQTT Broker:** Facilita la integración con otros sistemas y el desarrollo de aplicaciones personalizadas.
- **Compatibilidad con Hardware Popular:** Funciona con microcontroladores como Raspberry Pi, ESP8266, Arduino, y placas STM32.
- **Seguridad y Escalabilidad:** Ofrece cifrado de datos y herramientas para gestionar múltiples dispositivos.

Casos de uso

- Monitoreo de sensores industriales: Control de temperatura, humedad, vibración, etc.
- Sistemas de riego automatizado: Uso de sensores de humedad del suelo para activar bombas de agua.
- Gestión de energía en edificios: Análisis del consumo eléctrico en tiempo real.
- Monitoreo de flotas: Seguimiento de vehículos mediante GPS.

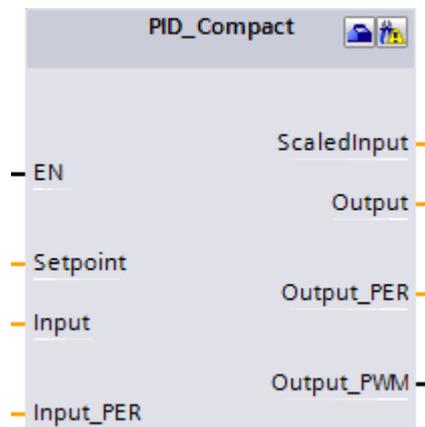
2.5. Control PID

Según Cajamarca y Cevallos (2022) el control PID (Proporcional Integral Derivado) es un sistema de control de retroalimentación ampliamente utilizado para ajustar y estabilizar procesos automatizados. En el contexto de un sistema de riego, el control PID permite ajustar continuamente el suministro de agua en función de los cambios en la humedad del suelo y otros factores ambientales. Este tipo de regulador se basa en tres principios:

- Proporcionalidad (P): controla la velocidad de reacción.
- Integral (I): corrige errores acumulados en el tiempo.
- Derivativa: (d): responde a la tasa de cambio.

Figura 5

PID compacto de TIA Portal



Juntos, estos componentes proporcionan una respuesta óptima y estable, evitando el riego excesivo o insuficiente de las plantas. Tal es el caso, si los sensores de humedad detectan que el suelo se está secando, el controlador PID puede aumentar gradualmente el flujo de agua, evitando picos de consumo y asegurando que el riego se mantenga en el nivel preciso (Monteagudo, 2023).

Para la lectura de sensores, se conecta los sensores de humedad y NPK a las entradas analógicas del PLC para monitorear las condiciones del suelo. Se utiliza el bloque de control PID en el software y aquí se configuran los parámetros P, I y D ajustados a las necesidades del riego. En la salida del PID se dirige a las válvulas y bombas mediante las salidas digitales y relés, regulando el flujo de agua a través de los aspersores.

El control Proporcional-Integral-Derivativo (PID) es clave para sistemas de riego automatizados que requieren precisión. Flores y Sánchez (2021) resaltan su capacidad para minimizar el error entre el valor deseado y la variable controlada (ejemplo: humedad del suelo), demostraron que un PID ajustado con ganancias $Kp = 2.5$, $Ki = 0.1$ y $Kd = 1.0$ redujo el consumo de agua en un 40%. Sin embargo, Cevallos y Reyes (2024) mencionan que la sintonización manual del PID es compleja en sistemas no lineales, como suelos con alta variabilidad, por lo que recomiendan combinarlo con algoritmos de machine learning, como se hizo en un proyecto en China con resultados de 95% de precisión. Se considera las siguientes variables del PID:

- **Variable de proceso (PV):** Humedad actual del suelo (dato del sensor capacitivo).
- **Setpoint (SP):** Valor objetivo de humedad del suelo (50%, ajustable).
- **Variable de control (CV):** Flujo de agua en L/min.
- Además de los parámetros del PID:
- **Kp (Proporcional):** Aumenta o disminuye rápidamente el flujo según la diferencia entre PV y SP.
- **Ki (Integral):** Corrige desviaciones acumuladas para mantener la estabilidad.
- **Kd (Derivativo):** Previene sobre correcciones al responder a cambios rápidos.

El PID calcula el flujo de agua con la ecuación:

$$CV = Kp \cdot e(t) + Ki \int e(t)dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Donde:

$$e(t) = SP - PV \quad (2)$$

2.6. Eficiencia en el uso del agua

La sostenibilidad hídrica son prioridades en la gestión de los recursos naturales, especialmente en zonas con estrés hídrico como Ecuador (Vega, 2020). La introducción de sistemas de riego automatizados promueve el desarrollo sostenible al reducir el consumo de agua y reducir el desperdicio. La integración de tecnologías como PLC, control PID, sensores de humedad e IoT permite un control preciso del riego, reduciendo pérdidas innecesarias y optimizando el uso del agua a las necesidades específicas del suelo y las plantas (Lasluisa, 2023).

Por ende, el desarrollo sostenible significa no sólo preservar los recursos para las generaciones futuras, sino también reducir el impacto ambiental mediante prácticas que conserven el agua y promuevan la biodiversidad. Estos sistemas también ayudan a mitigar el cambio climático al promover una gestión responsable y eficiente del agua en la agricultura y la gestión de espacios verdes, un paso importante hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) tanto a nivel local como global.

El uso del agua (WUE- Water Use Efficiency) es un indicador crítico para evaluar sistemas de riego. Según la FAO (2021), las técnicas modernas (goteo, aspersión inteligente) pueden mejorar la WUE hasta un 70% frente al riego por inundación, destacan que, en países con estrés hídrico como México, la adopción de sistemas automatizados con IoT y PID ha incrementado la productividad agrícola en un 25% usando la misma cantidad de agua. No obstante, advierten que la WUE no solo depende de la tecnología, sino también de prácticas agronómicas complementarias, como la rotación de cultivos y el manejo integrado de nutrientes. Un ejemplo exitoso es el proyecto "Más Agua, Más Vida" en Perú, donde la combinación de riego por goteo, IoT y capacitación a agricultores elevó la WUE de 1.2 kg/m³ a 2.8 kg/m³ en cultivos de quinua.

2.7. Sensor de temperatura y humedad

En la actualidad hay muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. La ingeniería de control de procesos ha inventado, perfeccionado e innovado a la hora de disponer de sensores que les ayuden a controlar los cambios de temperatura en procesos industriales (Bausa y otros, 2024).

Figura 6

Sensor de Humedad y temperatura



Nota. En la imagen se observa el sensor de temperatura y humedad RK520-01. Tomado de: (Orellana, 2024)

2.8. Sensor NPK

Dispositivo para medir los niveles de tres nutrientes esenciales en el suelo: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Estos nutrientes son fundamentales para el crecimiento saludable de las plantas y la producción de cultivos, por lo que el monitoreo de sus niveles permite optimizar la fertilización y mejorar la productividad. Este sensor opera detectando la concentración de estos nutrientes en el suelo mediante métodos electroquímicos o espectroscópicos. Los sensores pueden proporcionar mediciones en tiempo real o almacenar los datos para su análisis posterior. Estos dispositivos suelen integrarse en sistemas de agricultura de precisión, donde los datos recopilados se utilizan para ajustar la cantidad y el tipo de fertilizantes aplicados en el campo (EIC GROUP, 2024).

Figura 7

Sensor NPK



Nota: modelo de sensor NPK. Tomado de: (EIC GROUP, 2024)

2.8.1. Nutrientes del Suelo (NPK)

La concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo son esenciales para el crecimiento saludable del pasto. Según los datos emitidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en Ecuador (1999) los porcentajes de cada nutriente para un suelo arcilloso- limoso y un clima tropical son:

- **Nitrógeno (N):** 30-50 mg/kg (importante para el crecimiento foliar).
- **Fósforo (P):** 10-20 mg/kg (clave para el desarrollo radicular).
- **Potasio (K):** 100-150 mg/kg (necesario para la resistencia a estrés hídrico).

Debido a los valores necesarios, se utiliza un Sensor NPK comercial (como el Sensor de Nutrientes Soil Tester)

2.9. Bomba 12 V de riego

- **Tipo:** Bomba diafragma (de 12V o 24V DC), debido a su capacidad de fuerza y motor rápido controlado eléctricamente.
- **Modelo:** Bomba de 1/8 pulgada para flujo controlado en un sistema de pequeña escala (prototipo de 65cmx65cm).
- **Criterios de selección:** Bajo consumo energético, compatibilidad con controladores electrónicos y facilidad de instalación.

2.10. Controlador

- **Modelo:** PLC S7-1200
- **Función:** Ejecución del control PID y manejo de señales de los sensores.

Figura 8

Controlador lógico programable



Nota. Se usa el PLC S7-1200 para controlar el sistema.

2.11. Simatic IoT2040

El SIMATIC IOT2040 es una pasarela inteligente que facilita la normalización de la comunicación entre diversas fuentes de información, procesa y transmite los datos a los receptores correspondientes. Este dispositivo actúa como un enlace eficiente entre la nube o el nivel corporativo de Tecnología de la Información y los procesos de producción, permitiendo la implementación de soluciones personalizadas (Siemens, 2024).

Entre las características destacadas se incluyen:

- Amplias opciones de programación en lenguajes de alto rendimiento.
- Soporte para Yocto Linux.
- Expansión fácil mediante Arduino shields y tarjetas miniPCIe.
- Diseño compacto y robusto, adecuado para montaje en carriles DIN.
- Procesador Intel Quark x1020, altamente eficiente en términos energéticos, con características como arranque seguro, 1 GB de RAM, 2 puertos Ethernet, 2 puertos RS232/485, y un reloj de tiempo real respaldado por batería.
- Calidad SIMATIC garantizada, ofreciendo una alta fiabilidad y robustez.

Figura 9

Simatic IoT2040



Nota. Sirve como enlace entre la nube y la plataforma móvil.

2.12. Pantalla HMI

HMI son las siglas de human-machine interfaz y se refieren a un panel que permite a un usuario comunicarse con una máquina, software o sistema (EIC GROUP, 2024).

Figura 10

Pantalla HMI



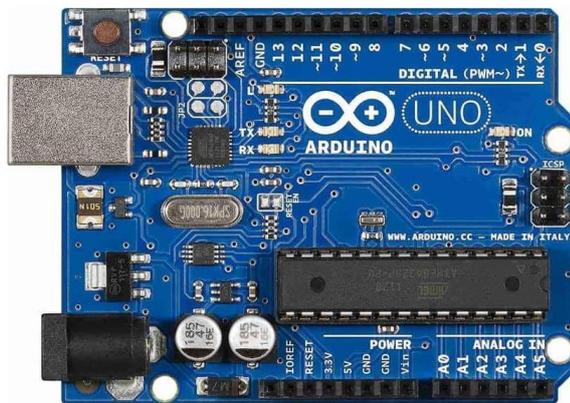
Nota. Pantalla HMI ktp700 basic. Tomado de: (Automation, 2024)

2.13. Arduino Uno

Arduino es una plataforma de hardware abierto que utiliza placas electrónicas programables diseñadas para el desarrollo de sistemas embebidos. Actualmente, existen múltiples variantes de placas Arduino en el mercado, que varían en tamaño, arquitectura de procesador, tipos de conectores y capacidades de comunicación. Sin embargo, todas las placas comparten la característica común de integrar un microcontrolador programable, con memoria RAM y almacenamiento flash, así como una serie de pines de entrada y salida para interconectar dispositivos externos, sensores y actuadores, permitiendo la creación de proyectos digitales interactivos (Romero, 2021).

Figura 11

Arduino Uno



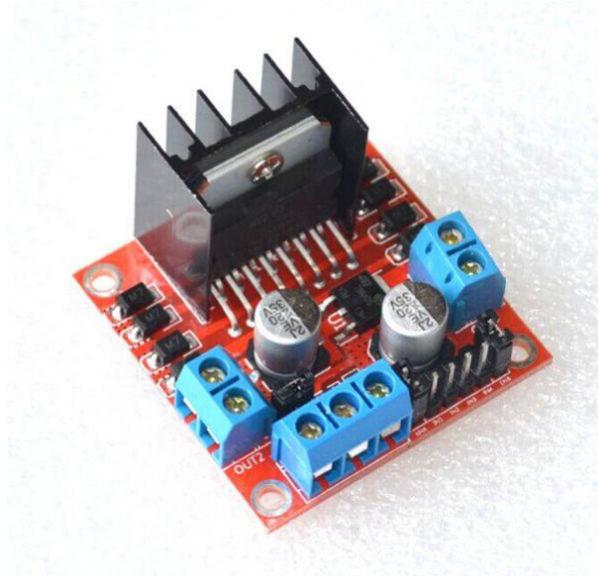
Nota. Utilizado para la comunicación IoT.

2.14. Driver L298N

Placa de control de motores basada en el chip L298N, que incorpora un puente H doble, permitiendo la gestión eficiente de dos motores de corriente continua o un motor paso a paso (Prometec, 2024).

Figura 12

Driver L298N



Nota. Utilizado para controlar motores

Esta placa es ideal para construir pequeños robots móviles utilizando motores de corriente continua y una plataforma base. Cuenta con un chip controlador L298N, doble puente en H, buen rendimiento contra interferencias y una intensidad de trabajo de 2A (máximo 3A de pico). Soporta una potencia de hasta 25W y permite manejar un motor paso a paso o dos motores de corriente continua. Incluye un regulador 78M05, diodos de protección, filtros por condensador y admite una alimentación de 5V para la placa y hasta 12V para los motores. Sus dimensiones son 43 x 43 x 26 mm, con un peso de 26 g (Bonet y Agramonte, 2022).

2.15. Otros materiales

- Tuberías de PVC de 1/2 pulgada para distribución de agua.
- Bomba de agua de baja potencia (12V DC) adecuada para un flujo de hasta 5 L/min.

Figura 13

Bomba de agua



Nota: Utilizada para mandar el agua a la válvula. Tomado de: (ES, 2024)

2.16. Adaptador de corriente AC-DC

Es también conocido como fuente de alimentación externa.

Descripción general

- **Tipo:** Adaptador de corriente
- **Entrada:** Se conecta a la corriente alterna (AC) de la red eléctrica
- **Salida:** Proporciona corriente continua (DC) a dispositivos electrónicos
- **Conector de salida:** Tipo barril cilíndrico (común en fuentes de 12V o 24V)
- **Etiquetas y especificaciones:** En la carcasa se pueden ver datos como voltaje de entrada y salida, corriente máxima, certificaciones de seguridad y advertencias

Este tipo de adaptador es comúnmente utilizado para alimentar laptops, cámaras de seguridad, routers, impresoras y otros dispositivos electrónicos.

Figura 14

Adaptador AC-DC



Nota. Utilizado para la alimentación del sistema

2.17. Identificación de las variables del sistema

Dentro de la identificación de las variables del sistema, se tiene las lecturas de los sensores de humedad y nutrientes del suelo y la definición de las salidas como la apertura de válvulas y el flujo de agua.

2.17.1. Variables de entrada

2.17.1.1. Humedad del Suelo

Porcentaje de agua presente en el suelo, crucial para determinar cuándo regar.

Rango óptimo: Para potreros en Guayaquil, con clima tropical y suelo arcilloso-limoso predominante, el rango ideal de humedad oscila entre el 40% y el 60%.

Tabla 1*Capacidad de retención de humedad de suelos*

Clase textural	Cm de agua/30cm profundidad del suelo
Arena gruesa	1.0 a 2.0
Arena y migajón arenosa	2.0 a 4.0
Franco y franco limoso	4.0 a 5.5
Franco arcilloso, franco arcilloso-limoso y franco arcillo-arenoso	4.5 a 6.2
Arcillo-arenoso, arcillo-limoso y arcilla	4.0 a 6.2

Nota: Se considera un suelo arcilloso-limoso el cual va de 4.5 a 6.2 lo que equivale a un 40% y 60% de rango de humedad ideal. Tomado de: (Castellanos, 2000)

En base a los rangos para mantener la humedad, se utiliza un sensor de humedad capacitivo SEN0193 el cual tiene una profundidad 10-15 cm, que corresponde a la zona radicular principal del pasto.

2.17.1.2. Nutrientes del Suelo (NPK)

La concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo son esenciales para el crecimiento saludable del pasto. Según los datos emitidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias en Ecuador (1999) los porcentajes de cada nutriente para un suelo arcilloso- limoso y un clima tropical son:

- **Nitrógeno (N):** 30-50 mg/kg (importante para el crecimiento foliar).
- **Fósforo (P):** 10-20 mg/kg (clave para el desarrollo radicular).
- **Potasio (K):** 100-150 mg/kg (necesario para la resistencia a estrés hídrico).

Debido a los valores necesarios, se utiliza un Sensor NPK comercial (como el Sensor de Nutrientes Soil Tester).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del prototipo

El propósito del proyecto es simular y desarrollar el prototipo que permita el riego en potreros mediante un sistema de control autónomo. El sistema utiliza tecnología de control PID y conectividad IoT, así como sensores de temperatura, humedad y NKP (como nitrógeno, fósforo y potasio). Además, está diseñado para reaccionar a condiciones específicas del suelo en tiempo real, ajustando automáticamente la cantidad y frecuencia de riego según sea necesario.

Esta automatización permite aumentar la eficiencia en el uso del agua, lo que es importante en situaciones de escasez de agua y en donde el ahorro de recursos es extremadamente importante. La implementación de este sistema no solo promoverá la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de agua, sino que también permitirá la recopilación y el análisis de datos de suelo y del clima utilizando IoT, lo que permitirá el monitoreo remoto y la estructuración de estrategias hídricas efectivas.

La elaboración del prototipo se divide en etapas:

- Selección de componentes.
- Identificación de las variables del sistema.
- Diseño del sistema
- Programación del controlador en PLC.
- Implementación de la conectividad IoT.
- Pruebas de rendimiento en un entorno controlado (maqueta).
- Evaluación y ajustes finales.

3.2. Selección de componentes

En primera instancia se efectúa la selección de componentes, asegurando que cumplan con los requisitos de costo y eficiencia. Esta fase incluye la adquisición de las válvulas de riego y la disposición de los sensores para el terreno.

El sistema de riego automatizado para potreros se compone de diversos componentes esenciales para su funcionamiento eficiente. Entre ellos, se incluyen las válvulas de riego, que permiten la apertura y cierre del flujo de agua de manera

controlada. Además, se emplean sensores especializados, como el sensor de humedad del suelo y el sensor de nutrientes (NPK), los cuales proporcionan información clave sobre las condiciones del terreno. También se integra un sensor de temperatura y humedad para monitorear el ambiente y ajustar el sistema en función de las necesidades del cultivo.

El control del sistema se realiza mediante un PLC Siemens S7-1200, el cual gestiona las señales de entrada y salida para la automatización del riego. Para la supervisión y control, se incorpora una pantalla HMI, que permite la interacción con el usuario y la visualización de datos en tiempo real. Además, el sistema cuenta con un módulo de conectividad IoT, utilizando un ESP32 como interfaz Wi-Fi, lo que facilita la integración con la red local y permite el monitoreo remoto. Para el almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos por los sensores, se emplea la plataforma Ubidots, que permite visualizar y analizar la información recolectada.

En cuanto a los materiales complementarios, el sistema utiliza tuberías de PVC de 1/2 pulgada para la distribución del agua. También se incorpora una bomba de agua de baja potencia (12V DC) con un flujo de hasta 5 litros por minuto, adecuada para el riego controlado. La alimentación de los sensores y las válvulas se garantiza mediante una fuente de alimentación con regulador de 12V DC.

3.2.1. Variables de Salida

3.2.1.1. Encendido de la bomba

El PLC S7-1200 se encarga de enviar señales analógicas de 0V a 5V al Arduino el cual convierte la señal analógica en una señal PWM que ingresa mediante el driver L298N y se encarga de encender y controlar la velocidad de la bomba. Para el funcionamiento de estas se considera la siguiente lógica de operación:

Para el control automático se controla y se puede colocar un set point (SP) de 0 a 100%. Si la humedad está por debajo del 14% y colocamos un set point superior, la bomba se encenderá hasta alcanzar el set point deseado. Y en contraste, si valor real (PV) está por encima del valor del SP, la bomba permanece apagada.

Como se trata de un prototipo reducido se utiliza una bomba de diafragma, misma que se encarga de distribuir el agua. Para la cantidad de agua suministrada al terreno en litros por minuto (L/min) se toma en cuenta lo siguiente:

- **Área del potrero:** 65x65 cm (4225 cm²).
- **Necesidad hídrica diaria promedio del pasto en Guayaquil:** 6-8 L/m².
- **Flujo ajustado por riego:** 1-2 L/min por bomba.

El control se realiza mediante un algoritmo PID en el PLC, mismo que ajusta dinámicamente el flujo según las condiciones del suelo y el clima. Las lecturas de sensores se toman cada 5 segundos para mantener el sistema actualizado en tiempo real. Además, los datos se almacenan en el módulo de conectividad IoT (Simatic IoT 2040) para su análisis y seguimiento histórico.

3.2.1.2. Umbrales de operación

Humedad del suelo:

- Riego activado si la humedad <SP
- Riego desactivado si la humedad >SP

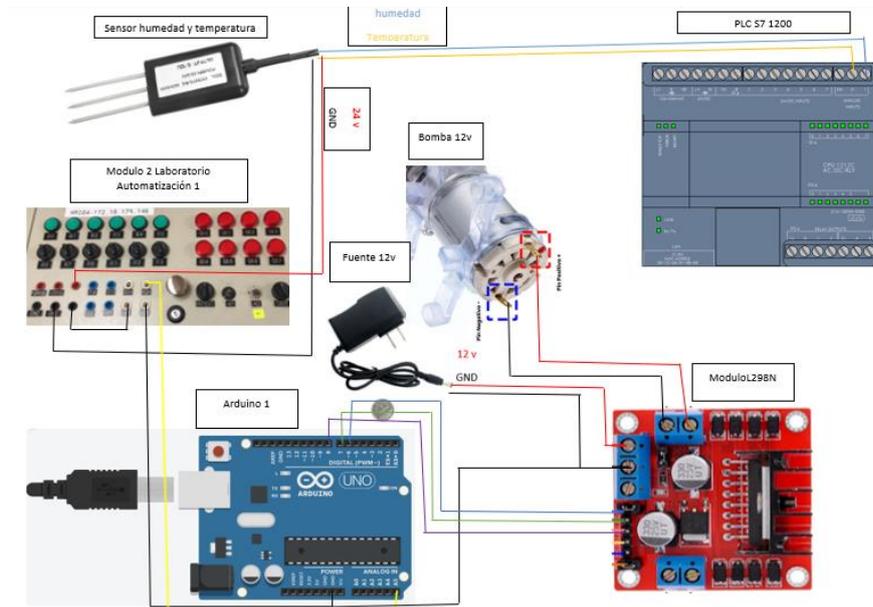
NPK: Se genera una lectura obteniendo los niveles de rango, aunque el sistema no incluye dosificación de nutrientes en esta fase.

3.3. Diagrama de conexiones

En la figura 16 se tiene las conexiones eléctricas para el sistema de riego automático de potreros.

Figura 15

Diagrama de conexiones



Nota. Diagrama de conexión de componentes eléctricos del robot fumigador.

El sensor de humedad, temperatura y nutrientes se ubican en la tierra y como su nombre indica son los encargados de medir la humedad y temperatura. Tiene salidas conectadas al PLC S7-1200 para monitoreo y control, su alimentación es de 12V o 24V según el modelo, y salida de señales para humedad y temperatura son señales analógicas de 0V a 10V.

El Siemens S7-1200 el cual es un controlador lógico programable es el encargado de recibir las señales del sensor y coordina el funcionamiento del sistema. La conexión se da a través del cable azul el cual manda señales de humedad, mientras que el cable amarillo es el encargado de la temperatura.

El Módulo de laboratorio el cual contiene un panel con pulsadores y switches es utilizado para realizar pruebas y activar manualmente diferentes partes del sistema. Se conecta tanto al Arduino como al PLC para pruebas y simulación. El Arduino es el

microcontrolador encargado de recibir señales de control y enviar comandos al módulo de potencia L298N para accionar la bomba misma que tiene una alimentación de 12V.

En conclusión, el sensor mide la humedad, temperatura y nutrientes del suelo y envía esos datos al PLC. El Arduino recibe señales del panel de laboratorio para accionar la bomba de agua mediante el módulo L298N. La bomba se alimenta con una fuente de 12V.

3.4. Construcción del sistema automatizado

Para obtener la lectura del sensor de humedad y temperatura se ingresa las dos entradas analógicas del PLC y realizamos un escalamiento en el software TIA Portal para obtener valores en temperatura en grados centígrados y de humedad en porcentaje.

Para activar la bomba de 12V se utiliza las salidas analógicas del PLC que van conectado a un Arduino enviando una señal de 0-5, donde el Arduino está programado para enviar una señal PWM (Pulse Width Modulation) al módulo L298n más conocida como el puente h que ayuda a controlar la velocidad del bombeo.

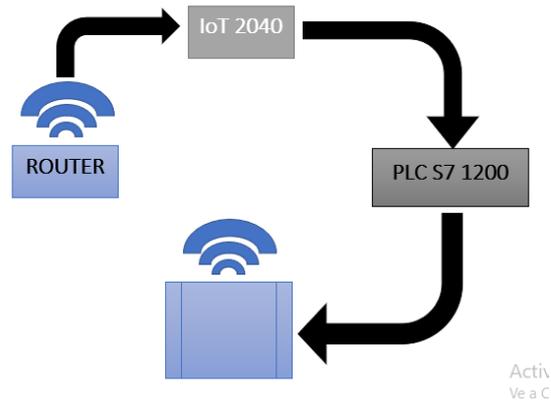
Mediante el módulo Max485 se logra tener comunicación del sensor NPK hacia el esp32 para posteriormente ser enviada la información por nodo red y tener la conexión IOT.

Conexión IoT de los datos de la temperatura y humedad

Para la conexión se utilizará un módulo de comunicación IoT 2040 siemens, con nodo red se logra obtener lectura de los valores de temperatura, humedad con una red local y un PLC.

Figura 16

Conexión IoT y PLC



Nota. En la imagen se presenta la conexión del router con el IoT y el PLC para la obtención de datos de los sensores.

3.5. Programación del controlador en el PLC

Programación del controlador en el PLC, integrando un algoritmo de control PID que ajusta automáticamente el flujo de agua según las necesidades específicas del suelo y el clima.

3.5.1. Conexiones del sistema

3.5.1.1. PLC con el sensor de humedad y temperatura

- AI1 plc → Entradas de humedad
- AI2 plc → Entrada de temperatura
- Gnd pl → GND sensor
- Alimentación del sensor 24V del PLC al sensor

3.5.1.2. Conexiones del PLC y Arduino Uno

- Salida analógica AQ+PLC → Entrada A5 Arduino
- GND PLC → GND PLC

3.5.1.3. Conexiones del Arduino Uno al módulo L298N

- Arduino pin 6 → ENA de módulo
- Arduino pin 7 → In 1 módulo
- Arduino pin 8 → In 2 del módulo

3.5.1.4. Conexión del módulo L298N a la bomba

- Out 1 L298N → + Bomba
- Out 2 L298N → Negativo de la bomba

3.5.2. Implementación del Control PID

Para la implementación del control PID se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

Entrada: Error entre la humedad del suelo real y el valor deseado (set point).

Salida: Señal de control proporcional al flujo de agua.

3.5.2.1. Parámetros PID

- **P (proporcional):** el cual se encarga de controlar la respuesta inicial al error.
- **I (integral):** Este parámetro permite ajustar el sistema para eliminar errores residuales.
- **D (derivativo):** Mejora la estabilidad y evita sobre correcciones.

3.5.3. Algoritmo

El programa se divide en los siguientes módulos principales:

Lectura de sensores: Adquisición de datos de humedad del suelo, temperatura, y nutrientes (NPK). **Control PID:** Ajuste del flujo de agua mediante un bucle de retroalimentación.

Activación de actuadores: Control de la bomba según los resultados del PID y los umbrales predefinidos.

Conectividad IoT: Comunicación de datos en tiempo real para monitoreo remoto.

3.5.3.1. Lógica del Control PID

El control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) ajusta automáticamente la cantidad de agua necesaria para mantener la humedad del suelo dentro de los rangos deseados S_p (%). Cálculos del PID

- **Proportional gain (Kp):** 1.0
- **Integral action time (Ti):** 0.2 s
- **Derivative action time (Td):** 0.1 s

- **Derivative delay coefficient:** 0.2 (Este no es parte del cálculo estándar de PID, es más bien un ajuste para mejorar la estabilidad del derivativo, lo podemos omitir en el cálculo base).
- **Proportional action weighting:** 1.0 (Puro proporcional estándar)
- **Derivative action weighting:** 1.0 (Derivativo estándar)
- **Sampling time:** 1.0 s (importante para la implementación discreta, pero no cambia los parámetros base del PID continuo).

$$Kp = 1.0$$

$$Ti = 0.2$$

$$Td = 0.1$$

Parámetros para algunos entornos (como PLC Siemens S7-1200):

$$Kp: 1.0$$

$$Ki: \frac{Kp}{Ti} = 1.0/0.2 = 5.0$$

$$Kd: Kp \cdot Td = 1.0 \cdot 0.1 = 0.1$$

Una vez que se reemplaza los datos y se calcula se obtiene el resultado final:

$$Kp = 1.0$$

$$Ki = 5.0$$

$$Kd = 0.1$$

3.5.3.2. Configuración en TIA Portal

Se utiliza el bloque de función estándar FB41 (CONT_C) para implementar el PID. Para ello se considera parámetros iniciales mismo se pueden ajustarse durante la calibración:

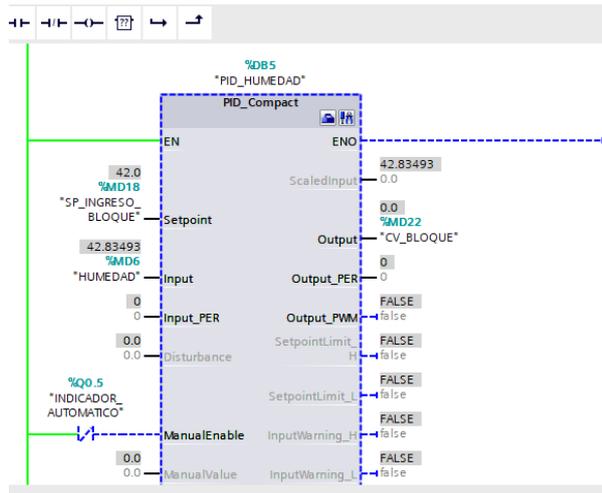
$$Kp = 1.0$$

$$Ki = 5.0$$

$$Kd = 0.1$$

Para la lectura del Sensor Humedad del suelo se utiliza la normalización del valor de 0-10V a un porcentaje de 0-100%. Para el sensor de Nutrientes NPK los valores se convierten a concentraciones relativas y se comparan con umbrales.

Figura 17
Bloque estándar para PID



Nota. En la imagen se tiene el bloque FB41 (CONT_C) mismo que sirve para introducir el controlador del sistema PID. Tomado de: Fuente propia

Para el riego se acciona una señal analógica que es enviada al Arduino uno, misma que activa la bomba diafragma la cual está conectada a un driver L298N y controla su potencia según la señal del PID y los umbrales de humedad.

3.5.3.3. Variables del sistema

Para la programación en TIA Portal, se tiene las siguientes entradas y salidas mostradas en la Tabla 2 y 3.

Tabla 2
Entradas del sistema para TIA Portal

Nomenclatura	Variable
I0.0	Encender
I0.1	Apagar
I0.2	On Motor
I0.4	Off Motor
I0.6	Manual/Automático

Nota. Se tiene las entradas que se van a utilizar dentro de TIA Portal y del PLC

Tabla 3*Salidas del sistema para tia Portal*

Nomenclatura	Variables
Q0.0	Sistema encendido
Q0.4	Sistema apagado
Q0.1	Manual
Q0.5	Automático
Q0.2	Motor ON
Q0.6	Motor OFF

Nota. Se tiene las salidas que se van a utilizar dentro de TIA Portal y PLC para el funcionamiento del sistema.

3.5.3.4. Programación

En la primera imagen se observa la implementación de un bloque tecnológico denominado PID_Compact, identificado como PID_HUMEDAD. Este bloque es utilizado para regular una variable asociada a la humedad, lo que es esencial en un sistema de riego automatizado.

El bloque tiene como entrada el valor de consigna o set point que se encuentra configurado en 42.8393. Este valor representa el nivel de humedad deseado en el sistema. Además, cuenta con una salida la cual ajusta la señal de control enviada a las válvulas o bombas del sistema, regulando así el flujo de agua en función de la diferencia entre el valor medido y el valor deseado.

Se observa que el parámetro Manual Enable está deshabilitado, lo que indica que el controlador opera en modo automático, permitiendo que el PID ajuste la salida sin intervención manual. Además, la estructura del bloque sugiere que el control ha sido configurado para actuar de manera continua y ajustarse dinámicamente a las condiciones de humedad detectadas en tiempo real.

Figura 19

Lógica de encendido y apagado

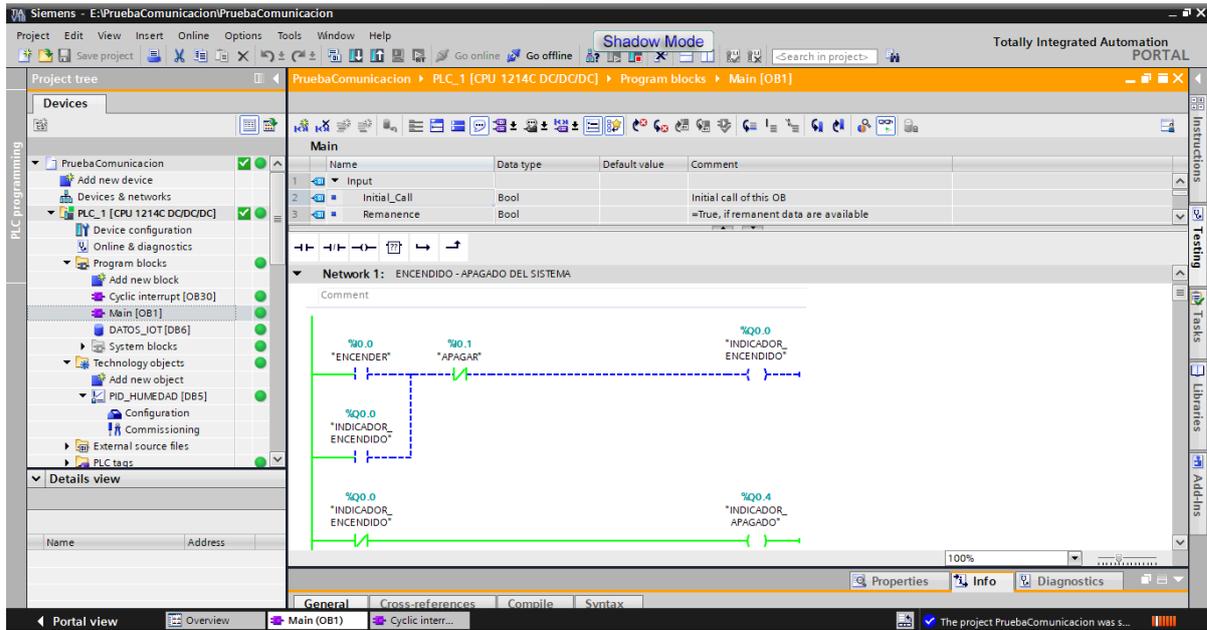


Figura 20

Encendido manual y automático

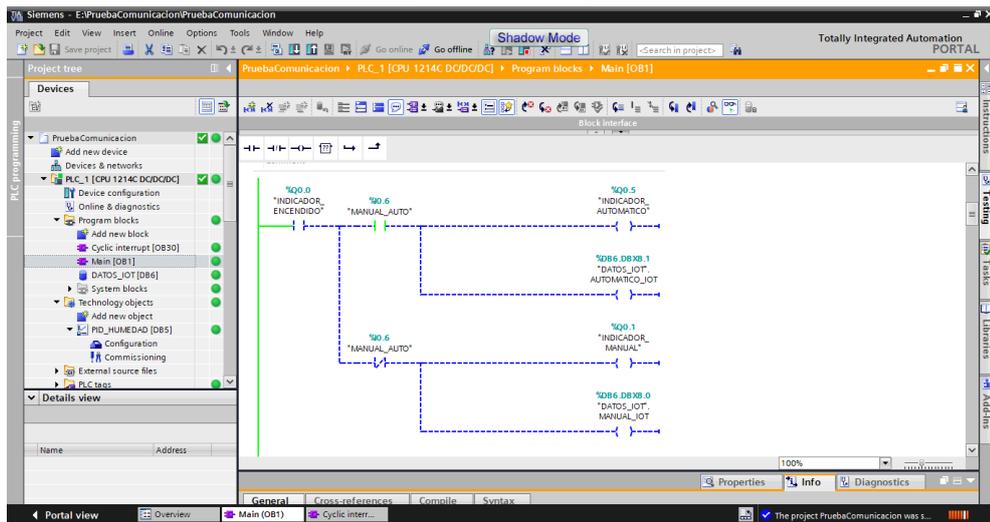


Figura 21

Encendido de la bomba de forma manual y automática

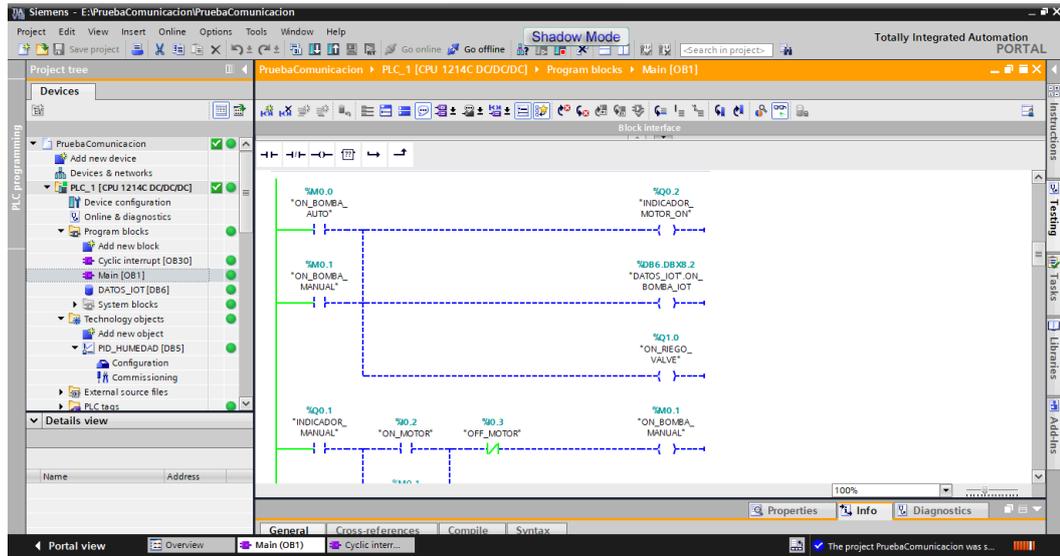


Figura 22

Lectura de los sensores de humedad y temperatura

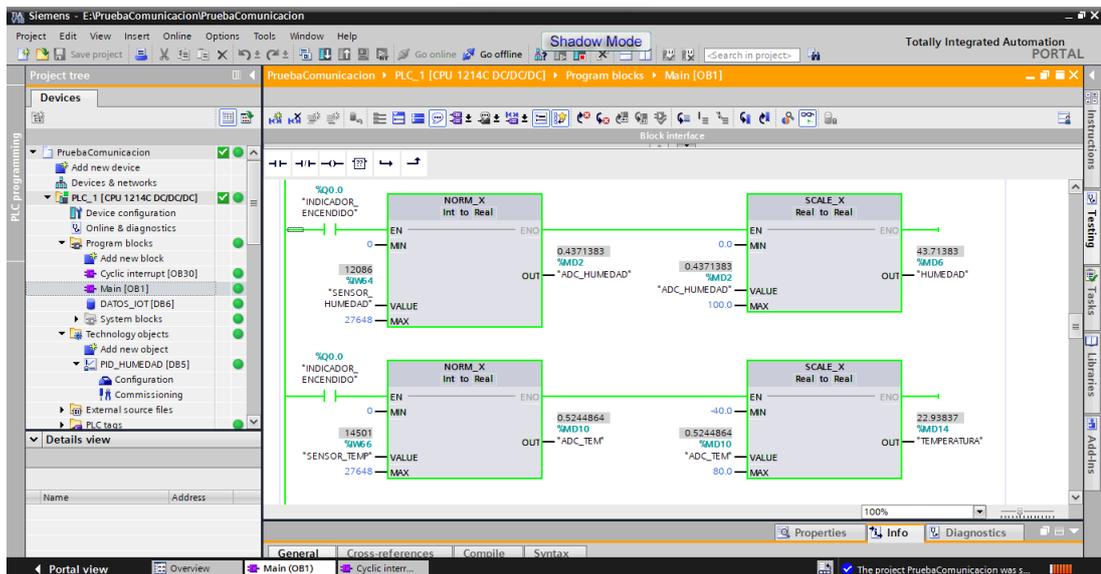


Figura 23

Salida de voltaje para bomba con control automático

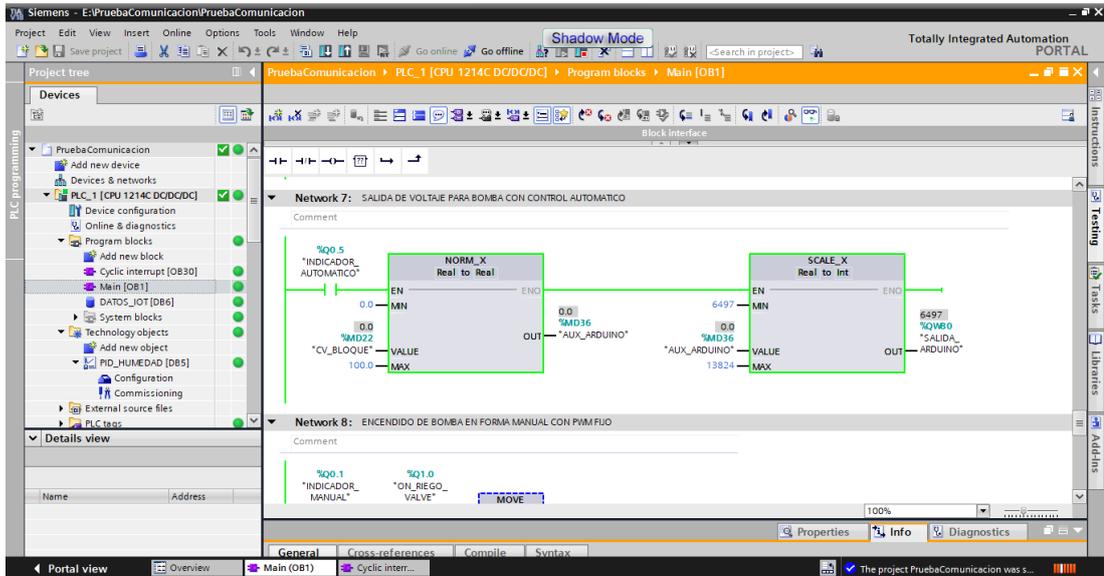
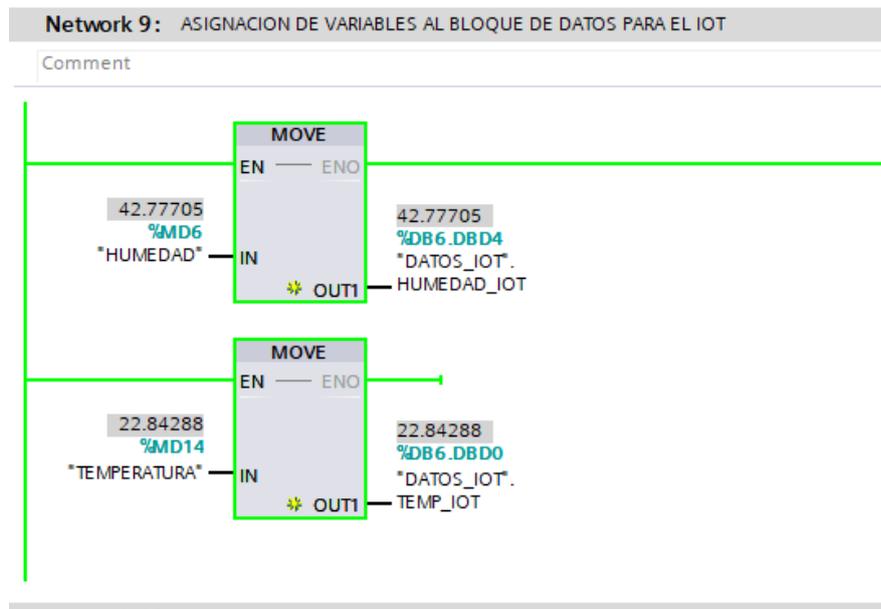


Figura 24

Asignación de las variables para el IoT



3.6. Implementación de la conectividad IoT

Implementación de la conectividad IoT para permitir la supervisión y el ajuste remoto del sistema desde dispositivos conectados, proporcionando datos en tiempo real sobre el consumo de agua, condiciones del suelo y variabilidad de riego.

3.6.1. Configuración de la plataforma

El módulo Wi-Fi se conecta a la red local y se transmite datos a una plataforma en la nube, la misma que se usa para enviar y recibir datos. Para el Monitoreo en tiempo real se utiliza la plataforma Ubidots para visualizar valores reales de humedad y temperatura, además del estado de la bomba y el tipo de funcionamiento. Control remoto del sistema se lo hace desde un dispositivo móvil o PC, en donde el usuario puede tener una lectura de los sensores.

Figura 25

Supervisión y control del riego automático de potreros.



Nota. En la imagen se tiene la aplicación móvil que permite el monitoreo de los valores reales de temperatura y humedad de la tierra. Tomado de: Fuente propia

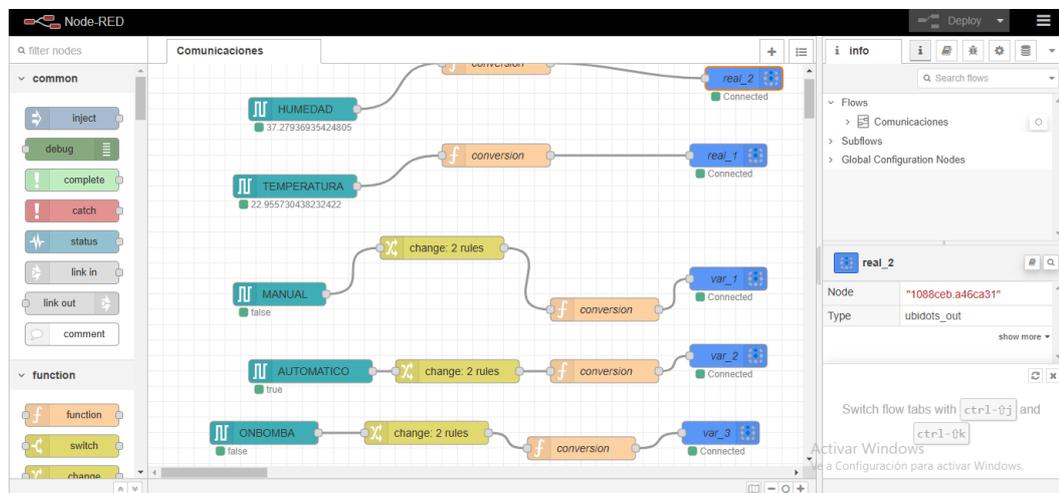
La figura 26 muestra la interfaz de Node-RED, una plataforma utilizada para la automatización y comunicación en sistemas IoT. Se tiene nodos de entrada para humedad y temperatura, los cuales reciben datos numéricos (37.27% y 22.95°C respectivamente). Estos valores pueden ser obtenidos de sensores de suelo y ambiente. Ambos nodos están conectados a procesos de conversión, lo que sugiere que los datos están siendo procesados antes de ser enviados a un sistema externo para su análisis o control.

El sistema cuenta con diferentes modos de operación representados por los nodos manual y automático. Estos nodos indican que el usuario puede alternar entre la activación manual, un sistema completamente automático o el control de la bomba de riego.

En la parte derecha de la imagen, se observa el nodo `real_2`, que está conectado a Ubidots, una plataforma en la nube utilizada para la visualización y análisis de datos IoT. Esto indica que los valores monitoreados están siendo enviados a un servidor remoto para su supervisión y posible análisis en tiempo real. Además, los nodos de salida muestran el estado `Connected`, lo que confirma que la comunicación con Ubidots está funcionando correctamente.

Figura 26

NodeRed



Nota. En la figura se observa un Node-RED, plataforma utilizada para la automatización y comunicación en sistemas IoT

3.7. Prueba de rendimiento en un entorno controlado

Pruebas de rendimiento en un entorno controlado (prototipo) para evaluar la capacidad del sistema de ajustar el riego en condiciones variables, con especial atención a la estabilidad y eficiencia del control PID.

Para las condiciones de prueba se considera un prototipo de $1x1m^2$ con un tipo de suelo arcilloso-limoso con mezcla orgánica típico de potreros. Se realiza la aplicación de agua irregular para simular déficit/exceso de riego, alteración de concentraciones de NPK y a través del PID se controla el tiempo de ajuste, sobrepaso y error en estado estacionario.

Para la respuesta del sistema ante cambios bruscos en humedad se realiza la simulación de lluvia.

3.8. Evaluación y ajustes

Evaluación y ajustes finales para asegurar que el sistema cumpla con los criterios de eficiencia hídrica, estabilidad y capacidad de respuesta en un contexto de riego en tiempo real.

Al obtener una salida del PLC de forma analógica no obtuvimos el Amperaje suficiente para activar la bomba la cual se implemento otro microcontrolador Arduino uno y un driver L298N la cual permite controlar y energizar la potencia de la bomba.

Se realizo las pruebas pertinentes con un tipo de tierra arenosa y se sintonizo con la misma obteniendo un margen de error elevado por ende preferimos utilizar otro tipo de tierra más seca y preparada que nos genero un margen de error del 1% la cual estabiliza en un margen de tiempo aceptable.

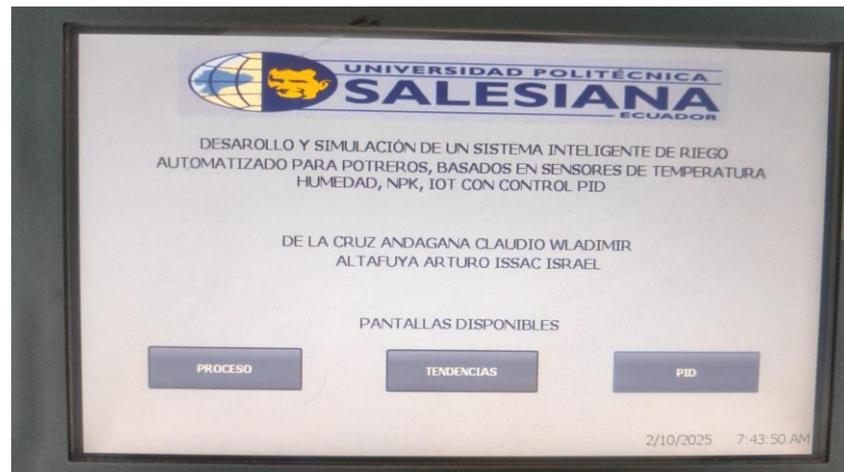
Se pretendió utilizar un aspersor que tiene entrada de $\frac{1}{2}$ y no funciono porque necesitaba más presión de agua para entrar en funcionamiento, se busco y se logro obtener un aspersor de $\frac{1}{8}$ la cual funciono a la perfección.

4. RESULTADOS

Se diseñó el HMI, para el control del riego automatizado de potreros, se divide en 3 subpantallas, la primera es para observar el proceso, la segunda para la tendencia de humedad, temperatura y los nutrientes del suelo, por ultima tenemos PID como se muestran en las figuras 28 hasta la 31.

Figura 27

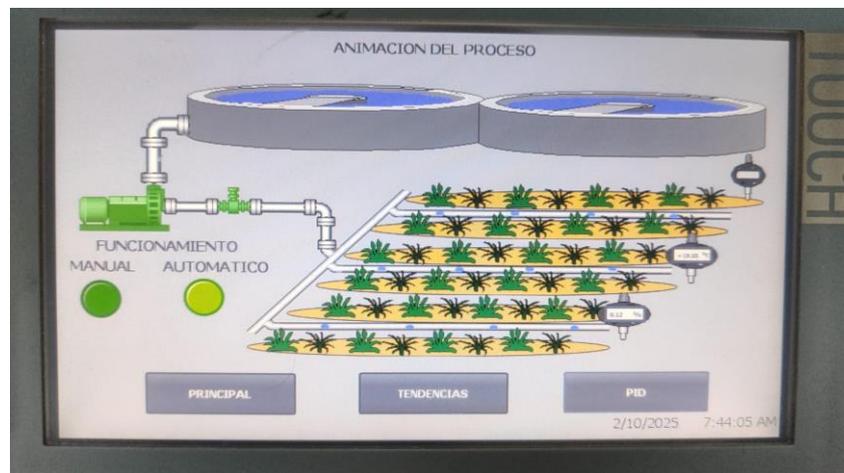
Pantalla principal del HMI



Nota. Presentación de la pantalla principal en donde constan las 3 subpantallas.

Figura 28

Primer subpantalla del HMI

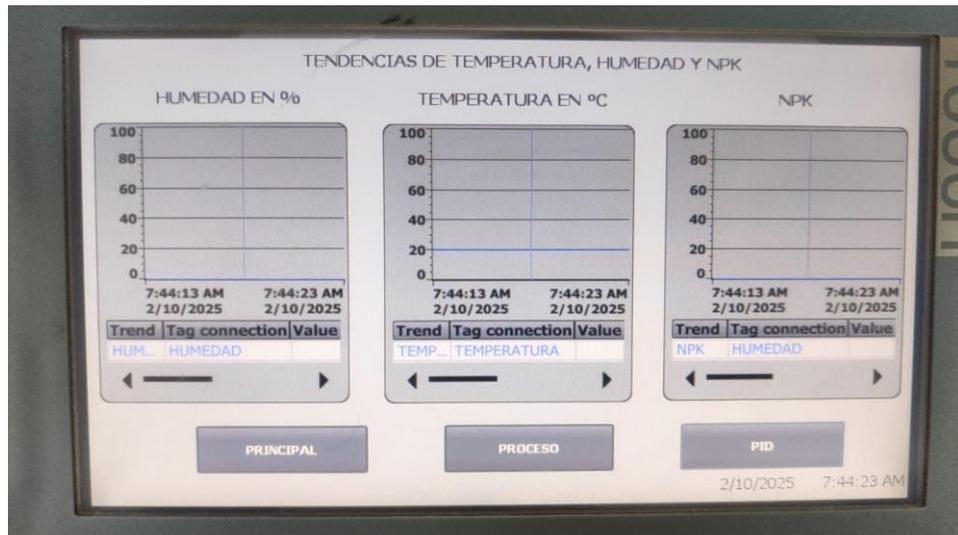


Nota. Primera subpantalla donde se observa cómo está realizado el proceso completo.

Tomado de: Autoría propia

Figura 29

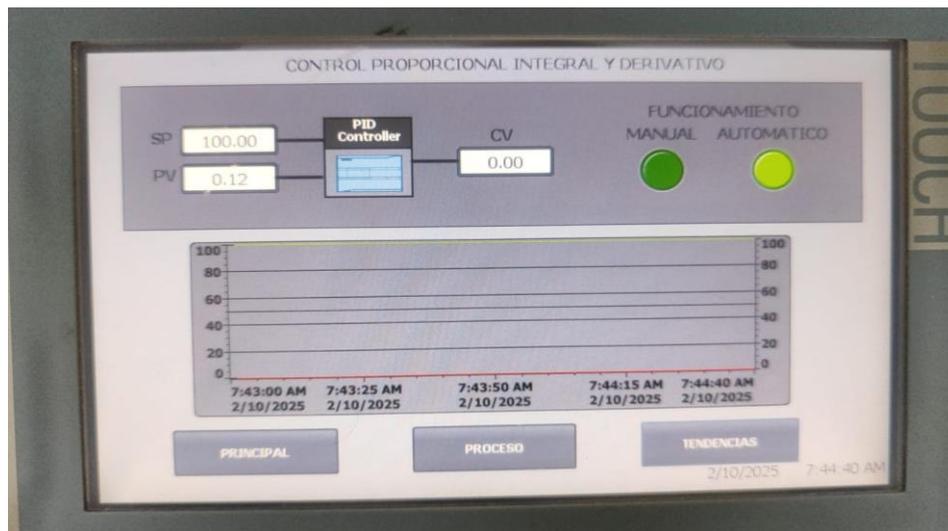
Segunda subpantalla del HMI



Nota. En esta pantalla se observa las tendencias que muestran los sensores tanto de temperatura como de humedad y de los nutrientes del suelo. Tomado de: autoría propia

Figura 30

Tercera subpantalla del HMI



Nota. Se tiene en control PID para monitorear el proceso tanto en modo manual como en automático. Tomado de: autoría propia

Una vez que se tiene el HMI y la programación, se procede a realizar la conexión IoT y la aplicación móvil, como se muestra en la figura 32.

Figura 31

Monitoreo en tiempo real de la temperatura y humedad



Nota. En la imagen se tiene la aplicación móvil la cual permite tomar los valores en tiempo real de la temperatura y humedad a la que se encuentra el suelo. Tomado de: Fuente propia

Se realiza el prototipo del potrero como se muestra en la figura 33 en cual se coloca una pared de vidrio para poder observar los componentes como son los sensores y la aspersión del agua,

Figura 32

Prototipo del potrero



Nota. En la imagen se observa el prototipo que se va a utilizar para realizar pruebas del sistema de riego automático de un potrero.

En la tabla 4 se muestra el tiempo que se demoró en estabilizarse el controlador PID de acuerdo a los datos de humedad emitidos por el sensor.

Tabla 4

Tiempo de estabilización del PID

Rango de humedad (%)	Tiempo de estabilización (segundos)
20% - 30%	325 segundos
30% - 35%	204 segundos
35% - 40%	122 segundos
40% - 45%	126 segundos

Nota. En la tabla se representan los rangos de humedad y el tiempo en el que el controlador PID logra estabilizarse.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la tabla 5 se puede observar las actividades que se llevaran a cabo entre el periodo 64 y el periodo 65.

Tabla 5

Cronogramas de actividades del proyecto técnico.

	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES				
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Investigación y planificación					
Revisión de la literatura sobre sistemas de riego automatizados	X				
Definición del alcance	X				
Selección de tecnología y componentes (PLC, sensores, etc.)	X				
Diseño del sistema					
Especificación de requisitos del sistema de riego		X			
Diseño de la estructura y disposición de sensores para los potreros.		X			
Definición del sistema de control PID y parámetros de IoT		X			
Implementación de Hardware					
Instalación del PLC, sensores de humedad, y sensores NPK			X		
Instalación del sistema de válvulas y conexiones de riego			X		
Integración de sensores de humedad y control PID en el sistema			X		
Desarrollo de software e Interfaz					
Desarrollo del software de control y monitoreo				X	

Diseño de la interfaz de usuario para monitoreo remoto en Node-RED	X	
Programación de funciones de optimización de agua y control PID	X	
Pruebas y Ajustes		
Pruebas de funcionamiento del sistema de riego		X
Ajuste de parámetros y optimización del consumo de agua		X
Identificación y solución de errores en el sistema		X
Documentación y Presentación		
Redacción de informe técnico y preparación de manuales de usuario		X
Preparación de presentación final del proyecto		X

Nota: Se presentan las fechas en las cuales se deben de llevar a cabo cada etapa en conjunto a sus actividades.

6. PRESUPUESTO

A continuación, en la tabla 6 se detalla el costo de los materiales a utilizar para el desarrollo del prototipo.

Tabla 6

Tabla de presupuesto

Descripción de materiales	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sensor NPK	Medición de nutrientes (N, P, K) en el suelo	1	\$ 40	\$ 40
Sensores de humedad y temperatura	Medición de humedad y temperatura en el suelo	1	\$ 70	\$ 70
PLC	Controlador lógico programable	1	\$ 319	\$ 319
HMI	Visualizador de parámetros	1	\$247	\$247
Bomba diafragma de 12V	Bomba extractor de agua	1	\$ 40	\$ 70
Otros materiales	Cables, conexiones, soporte, materiales para la maqueta	1	\$ 150	\$ 150
Modulo IOT 2040	Recibe y envía datos a la red	1	\$250	\$250
Arduino UNO	Microcontrolador	1	\$15	\$15
Modulo l298N	Puente H para controlar la velocidad	1	\$3	\$3
Fuente 12v	Genera voltaje de 12v 1A	2	\$4	\$4
Horas de ingeniería	Trabajo y tiempo realizado	80	\$ 2.87	\$ 229.60
Total				\$ 1397.60

Nota: Se detallan los gastos que se realizaron para el desarrollo, Se menciona los materiales que la universidad dispone en los laboratorios y se utilizó en el presente proyecto como PLC, HMI, IoT2040.

7. CONCLUSIONES

El desarrollo y simulación del sistema inteligente de riego automatizado para potreros permitió comprobar que la integración de sensores de humedad, NPK, temperatura y el control PID, junto con la conectividad IoT, optimiza de manera significativa el suministro hídrico en terrenos de cultivo y pastizales.

Durante el proceso, se verificó que la automatización mediante el PLC Siemens S7-1200 posibilita una supervisión constante y precisa de las condiciones del suelo, permitiendo que las decisiones sobre el riego se basen en datos reales y actualizados. La simulación del prototipo evidenció que el control PID es esencial para garantizar la estabilidad del sistema, ya que ajusta automáticamente el caudal de agua según los cambios de humedad y temperatura detectados en el suelo, evitando tanto el desperdicio como la insuficiencia de riego.

La implementación de conectividad IoT demostró ser una herramienta invaluable, ya que posibilita el monitoreo remoto y la configuración del sistema desde cualquier ubicación, brindando flexibilidad y reduciendo la necesidad de intervención física constante.

La combinación de automatización, control PID e IoT no solo moderniza los sistemas de riego tradicionales, sino que también representa una solución sostenible y adaptable a las necesidades cambiantes del sector agrícola, especialmente en zonas dedicadas a la producción ganadera y el cultivo en potreros.

8. RECOMENDACIONES

Es recomendable continuar con la optimización del sistema mediante ajustes periódicos de los parámetros del controlador PID, dado que las condiciones del suelo y el clima pueden variar de manera significativa con el tiempo, afectando así el rendimiento del sistema de riego.

Se sugiere ampliar la red de sensores, incorporando mediciones adicionales como la salinidad del suelo y la radiación solar, lo que permitiría tomar decisiones aún más precisas sobre las necesidades hídricas y nutricionales de los cultivos.

Se aconseja realizar pruebas de campo prolongadas para validar el comportamiento del sistema en diferentes estaciones del año, ya que los cambios climáticos estacionales influyen directamente en la demanda de agua y nutrientes del suelo. En cuanto a la conectividad IoT, se recomienda fortalecer la seguridad de la red y las plataformas de monitoreo remoto, garantizando así la protección de los datos y evitando posibles accesos no autorizados.

Capacitar a los productores y operarios en el uso de esta tecnología, con el fin de que puedan interpretar adecuadamente la información proporcionada por el sistema y realizar ajustes que maximicen su eficiencia.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agropecuarias, I. N. (1999). *Guía de cultivos*. Quito.
- Álvares, A. (2020). *Análisis de un sistema de riego automatizado alimentado por energía fotovoltaica utilizando PLC*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Astudillo, J., y Carpio, B. (2022). *Diseño de un sistema modular automatico de riego presurizado por goteo de agua y minerales para plantaciones de árboles frutales*.
- Automation. (2024). *Panel HMI Siemens KTP700 Basic PN - 6AV2123-2GB03-0AX0*.
- AV. (2020). *Válvula Solenoide de 12V para 1/2"*.
- Ayovi, A. (2023). *Automatizacion de un sistema de riego por aspersion*.
- Bausa, J., García , C., Zaagozi, B., Gil, A., Moreno, D., y Galiana, A. (2024). *Sensores de temperatura*.
https://firq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf
- Bonet, C., y Agramonte, A. (2022). *Perdidas por evaporacion y arrastre de diferentes tecnicas de riego por aspersion*.
- Bosques , J. (2010). *Curso básico de hidroponia*. lulu.com.
- Caguana, S. (2020). *Análisis de la vulnerabilidad del sistema de agua para consumo humano por amenaza del cambio climático en el Cantón Suscal de la provincia del Cañar*. Flasco: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/17279>
- Cajamarca, J., y Cevallos, J. (2022). *Implementación de un sistema de riego automatizado empleando dispositivos de control para incrementar la eficiencia en el uso del agua en el barrio Anchilivi en la provincia de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/28da60cf-1a28-4e98-b0d3-77d53814628d>
- Casafe. (2020). *Buenas Prácticas Agrícolas*.
- Castellanos, J. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. México: Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI).
- Cevallos, M., y Reyes, J. (2024). *Control PID*.

- Cherlinka, V. (2024). *Uso Del Agua En La Agricultura Con Métodos Sostenibles*. EOS.
- Collado, E., y Sáez, Y. (2017). *Sistema de riego inteligente para optimizar el consume de agua en cultivos en Panamá*".15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.
- Cuadrado, S. (2022). *Aplicación de la tecnología IoT (Internet of Things) para la medición de variables meteorológicas en la agricultura sostenible la tecnología IoT (Internet of Things) con sensores de bajo costo, como herramienta de monitoreo de las variables meteorológicas*.
- Del Cid, J. (2023). *Tecnología para distribución de agua potable en Municipalidad San José*. MImage: <https://biblioteca.galileo.edu/xmlui/handle/123456789/1299>
- Díaz, J. (2018). *El Agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad*", Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- EIC GROUP. (16 de 9 de 2024). *EIC GROUP*. EIC GROUP: <https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>
- ES. (2024). *MÓDULO CONVERTIDOR MAX485, DE TTL A RS485*.
- FAO. (2021). *TECNOLOGÍAS PARA EL USO SOSTENIBLE DEL AGUA*.
- Farnell. (2020). *SEN0193*.
- Fernández, R. S. (2018). *Seminario de automatización de procesos y procesos fischer technik*. Valencia. Apuntes de la asignatura Laboratorio de automatización y control.
- Flores, D., y Sánchez, L. (2021). *Modelo de estimación regional de la humedad del suelo para determinar las demandas de riego*.
- Flores, M., Flores , F., Velasco, V., y Gonzáles, G. (2015). Monitoreo de humedad en suelo a través de red inalámbrica de sensores. En *Tecnología y Ciencias del Agua*.
- Freire , J., y Chávez, L. (2021). *Diseño e implementación de un sistema IoT prototipo para el control de riego por goteo y fumigación por aspersión en cultivos de invernadero*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21243>

- Gallardo , A., Herrera , J., Sandoval , S., Andrade, M., y Ramos , E. (2023). *Internet de las cosas, teoría y práctica*. Colima: ISBN.
- Gálvez, J., y Guzmán, M. (2022). *Técnicas y metodologías validadas para mejorar*.
- Garcia, P. (2023). *Por ende, la agricultura tradicional enfrenta una incertidumbre cada vez mayor debido al cambio climático, lo que lleva a periodos de sequía más prolongados e intensos y, en el caso de Ecuador*. AgEcon: <https://ageconsearch.umn.edu/record/338827/?v=pdf>
- Gurovich, R., y Luis, A. (2019). *Riego superficial Tecnificado*. México D.F.: ALFAOMEGA grupo Editor.
- IBM. (2020). *Conozca MQTT*.
- Intagri. (2019). *Los sistemas de Riego aptos para la Fertitigación*. Agua y riego: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/los-sistemas-de-riego-aptos-para-la-fertirrigacion>
- Jiménez, G. (2024). *Sistema de riego inteligente de corto alcance para jardines a partir de visión artificial*. Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/34091ead-b012-4c26-8add-2d7d5e084f76>
- Lagunas, A. (2020). *EVALUACIÓN DEL MANEJO DEL RIEGO POR MEDIO DE SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN UN CULTIVO DE TOMATE PARA INDUSTRIA*.
- Lasluisa, A. (2023). *Identificación del nivel de estrés hídrico en las estribaciones del cerro Casahuala de la parroquia Pasa, provincia de Tungurahua*. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/ef0eb8be-658e-4d18-9a5b-23ab7c24a3bf>
- Malagnino, A., Montanaro, T., Lazoi, M., Sergi, I., Corallo, A., & Patrono, L. (2021). Building Information Modeling and Internet of Things integration for smart and sustainable environments: A review. In J. C. Pro. JCLEPRO.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, A. y P. (2016). Plan Nacional de Riego y Drenaje. *Subsecretaría de Riego y Drenaje*.

- Mishra, D., Khan , A., & Upadhyay, S. (2018). Automated Irrigation System-IoT Based Approach, Proceedings -2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018. SIU.
- Molina, C. M., Chinchero, H. F., y Caral, N. (2022). Development of an IoT-Based Precision Agriculture System for Strawberry Plantations in Guamote Ecuador. En *Communications in Computer and Information Science* (págs. 132-147). COVER.
- Monteagudo, Y. (2023). *Diseño de un control de caudal de agua potable en una vivienda utilizando LOLIN NODEMCU ESP8266 mediante Internet de las cosas*. Universidad Ricardo Palma: <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/e8e51764-e26e-4b1a-bbde-7b14e2503c26>
- Mosquera, C. (2022). *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 evita*.
- MUNDORIEGO. (2022). *Qué es el riego por aspersion, como funciona y cuales son sus ventajas*. <https://mundoriego.es/que-es-el-riego-por-aspersion-como-funciona-y-cuales-son-sus-ventajas/>
- Nageswara, R., y Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system, Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Contro. ICISC .
- Novatronic. (2024). *ESP32-WROOM-32*.
- Orellana. (2024). *Sensor Humedad/Temperatura DHT22/AM2302 Blanco*.
- Orlando , C. (2018). *Automatización industrial. Manual prácticas de laboratorio*. Javeriana.
- Ortiz, J. (2021). *Desarrollo de un prototipo de un sistema de riego automatizado para el procesamiento , monitoreo y analisis de datos utilizando logica difusa en tiempo real e iot para optimizar el uso de agua aplicada a cultivos*.
- Perea, F. (2024). *Transformación digital y automatización en el mercado laboral colombiano: riesgos y oportunidades para grupos socioeconómicamente marginados*. Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86287>

- Pereira, L. (2020). *El riego y sus tecnologías*. Albacete - España.
- Primicias. (13 de Noviembre de 2024). <https://www.primicias.ec/economia/nuevos-horarios-cortes-luz-ecuador-13al14noviembre-83011/>
- Promotec. (2024). *Controlador Motor L298N*.
- Quironga, H., y Faz, R. (2020). Incremento de la eficiencia en el uso del agua por la alfalfa mediante la suspensión de riegos en el verano. *Terra Latinoamericana*, 26(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313046003>
- Ramiro, N., y Gutierrez, F. (2020). *Pastos y forrajes del Ecuador*. Universitaria Abya-Yala.
- Restrepo, J., Angel, D., y Prager, M. (2021). *Actualización Profesional en Manejo de Recursos Naturales, Agricultura Sostenible y Pobreza Rural*.
- Reynoso, F. (2022). *Desafío de management en la utilización de residuo agrícola de cosecha como fuente de bioenergía en ingenios azucareros*. Universidad Siglo. : <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/25624>
- Robles, K. (2024). *Investigaciones previas, como las de Pérez et al. (2021) y Rodríguez y Gómez (2023), han demostrado que la automatización en el riego mejora significativamente la productividad agrícola al ajustar el suministro de agua a las necesidades específicas del cu.*
- Rojas, H. (2023). *Desafío de management en la utilización de residuo agrícola de cosecha como fuente de bioenergía en ingenios azucareros*. Universidad Siglo: <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/25624>
- Romero, J. (2021). *¿Qué es Arduino y para qué sirve?*
- Sakovich, N. (2021). *10 best IoT platforms for 2021*. SaM-Solutions.com.: <https://www.sam-solutions.com/blog/top-iot-platforms/>
- Santos , O. (2019). El Agua en tiempos de crisis. *Revista de Estudios Estratégico*.
- Schugurensky, C., y Capraro, F. (2019). Control Automático de Riego Agrícola con Sensores Capacitivos de Humedad de Suelo. Aplicaciones en Vid y Olivo. Argentina.
- Siemens. (2024). *SIMATIC IOT2000*.
- Ubidots. (2024). *Como funciona Ubidots*.

- Unitonevector. (2010). *Sistema de riego por aspersión*. Freepik:
https://www.freepik.es/vector-premium/sistema-riego-aspersion_4277693.htm
- Valdivielso, A. (2020). *Qué es la evaporación del agua?*
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es->
- Valenzuela , K. (2019). *Comparación de métodos de programación de riego para el cultivo de brócoli*. Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/items/01ecf591-f850-4efc-b0e9-9e9144177aa7>
- Varas, Z. (2013). *Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelo y comunicación inalámbrica*. Perú.
- Vega, L. (2020). *Gobernanza hídrica en la ciudad de Ambato, respuestas en torno a la demanda de agua*. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/17343>
- Ventura , R., y Lima, F. (2024). *Diseño de un sistema automatizado de riego por aspersión con generación fotovoltaica para optimizar el consumo del recurso hídrico en un terreno de cultivo de aguaymanto en el CPM de Mayobamba-2022*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14202>
- Yaguana, J. (2024). *Prototipo de un sistema de monitoreo y control para la gestión de consumo de agua en los cultivos de plantas del vivero michita mediante lógica difusa*.

10. ANEXOS

Figura 33

Prueba del módulo PLC-S71200



Nota. En la imagen se observa el prototipo que se va a utilizar para realizar pruebas del sistema de riego automático de un potrero.

Figura 34

Proceso de la elaboración de la maqueta 65cm x 65 cm.



Nota. Se realiza la Implementación de vidrios para evitar derrame de agua en el laboratorio.

Figura 35

Proceso del cableado en el laboratorio.



Nota. La implementación de todo el sistema en la maqueta.

Figura 36

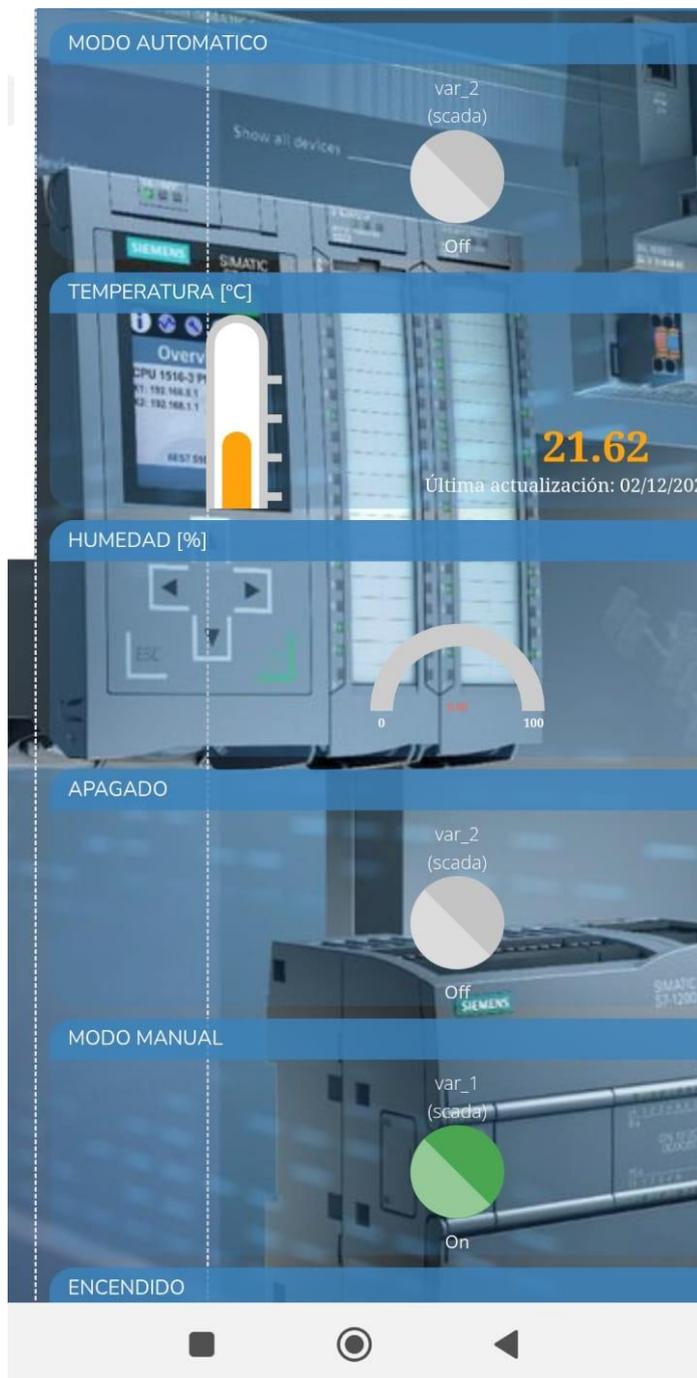
Pruebas del sistema.



Nota. Pruebas de todo el sistema como el control PID, modo manual y funcionamiento de todos los materiales.

Figura 37

Prueba de la plataforma ubidots.



Nota. Se obtiene la lectura de la variable temperatura en grados centígrados que es extraída desde el node-red.

Figura 38

Sistema y los autores.



Nota. Se visualiza la maqueta con la implementación de todo el sistema en