



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO
INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL
BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA.”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero

Electromecánico

Autores:

RODRIGUEZ VIZCAINO EMILIO JOSE

TUTILLO TUTILLO DAMIAN GUILLERMO

Tutor Académico:

Ing. M.Sc. Freire Andrade Verónica Paulina

LATACUNGA – ECUADOR

2025



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Rodríguez Vizcaino Emilio Jose, con cedula de ciudadanía No. 0503964181, Tutillo Tutillo Damian Guillermo, con cedula de ciudadanía No. 1718550344, declaramos ser autores del presente PROYECTO DE INVESTIGACION: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA.”**, siendo la Ing. M.Sc. Freire Andrade Verónica Paulina tutor del presente trabajo y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales

A su vez, confirmamos que las ideas, conceptos, métodos y hallazgos presentados en este trabajo de investigación son de nuestra total responsabilidad.

Latacunga, agosto 2025

Rodríguez Vizcaino Emilio Jose

CI. 0503964181

Tutillo Tutillo Damian Guillermo

CI. 1718550344

Latacunga, 31 de julio del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA”**, propuesto por los estudiantes Emilio Jose Rodríguez Vizcaino y Damián Guillermo Tutillo Tutillo, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.

TUTOR

Ing. M.Sc. Freire Andrade Verónica Paulina
C.C: 050205622-9

Latacunga, 4 de Agosto del 2025

Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián M.Sc
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**
Presente.

Reciba un cordial saludo a la vez deseándole éxitos en sus funciones, cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA.”** propuesto por los estudiantes **Emilio Jose Rodríguez Vizcaino** y **Damian Guillermo Tutillo Tutillo** estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de propuesta tecnológica en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

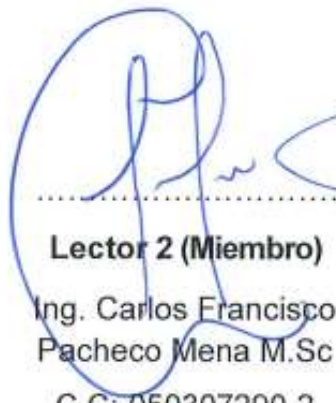
Atentamente,



Lector 1 (Presidente)

Ing. Edwin Homero
Moreano Martínez
M.Sc.

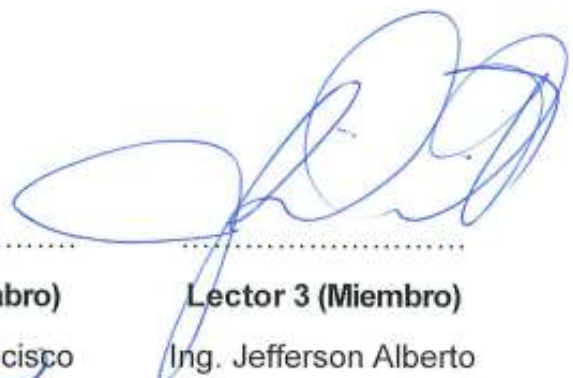
C.C: 050260750-0



Lector 2 (Miembro)

Ing. Carlos Francisco
Pacheco Mena M.Sc

C.C: 050307290-2



Lector 3 (Miembro)

Ing. Jefferson Alberto
Porras Reyes M.Sc.

C.C: 070440044-9

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres, quienes con su sacrificio y ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo, la perseverancia y la honestidad. Gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, por brindarme siempre un hogar lleno de comprensión y por sostenerme con palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

A mi familia, por ser mi pilar y mi inspiración constante. A mis hermanos, por su apoyo silencioso pero firme, y por recordarme con sus gestos sencillos, a la Ingeniera Paulina Freire quien supo guiarnos en este tiempo para llegar a culminar estudios y llegar a ser profesionales.

Emilio Rodríguez

DEDICATORIA

El presente proyecto se la dedico principalmente a mi madre y padre quien me ayudó incondicionalmente, por su sacrificio y su apoyo constante durante mi formación profesional. A mis hermanas quienes han sido mi motivación, por confiar siempre en mí y apoyarme durante todo este tiempo de estudio.

Gracias querida madre por todo el amor, apoyo incondicional y por nunca dejarme solo y a mi padre que siempre estuvo presente en todo momento.

Emilio Rodríguez

DEDICATORIA

El presente proyecto se la dedico principalmente a mis padres, Clelio Guillermo Tutillo Checa y Blanca Susana Tutillo Chimarro, pilares fundamentales de mi vida, quienes con su amor, esfuerzo y sabios consejos sembraron en mí la perseverancia y el deseo de superación. Gracias por ser ejemplo constante de fortaleza y nobleza.

A mis hermanos Wendy, Katerin y Miller por su compañía, sus palabras de aliento y por compartir conmigo las alegrías y los desafíos a lo largo de este camino académico. Su apoyo ha sido una fuente inagotable de motivación.

Damian Tutillo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Tema: “Diseño e implementación de un Sistema de Riego Rotativo Inteligente Mediante LORAWAN E IOT en la Parroquia Rural Belisario Quevedo, Latacunga.”

Autores:

Rodríguez Vizcaino Emilio Jose
Tutillo Tutillo Damian Guillermo

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se centra en el desarrollo y puesta en marcha de un sistema de riego rotativo que emplea la programación IoT, situado en la parroquia rural de Latacunga, Belisario Quevedo. Su propósito principal es optimizar la utilización del agua en las labores agrícolas mediante un sistema automatizado que permita la supervisión y el control remoto del riego, que incrementara la eficiencia hídrica y minimizar el desperdicio del recurso ya que existe gran desperdicio de agua y el exceso de horas por el riego manual. El sistema fue implementado con dispositivos IoT vinculados a una placa Heltec LoRa 32 V3, lo que posibilitó la transmisión de datos a grandes distancias, alcanzar hasta 1 km en comunicación LoRa, con un consumo energético reducido. Se diseñó una infraestructura de sensores para analizar parámetros esenciales, como el flujo y la presión del agua, y se integró un sistema de control basado en microcontroladores ESP32 para la inspección y la gestión de las electroválvulas. Además, se desarrolló una plataforma de monitoreo en tiempo real accesible desde la aplicación Telegram para facilitar la administración del riego a los agricultores. La eficacia del sistema se evaluó mediante metodologías experimentales, como pruebas de conexión y ajuste de parámetros de transmisión de los sensores, y metodologías basadas en análisis de datos, que permitieron verificar la fiabilidad del sistema y su impacto en la eficiencia hídrica. Los resultados demostraron que el sistema propuesto reduce el consumo de agua en un ahorro de 50%, mejora la autonomía de los agricultores y optimiza el rendimiento hídrico en zonas alejadas con acceso restringido y disminuye el tiempo dedicado al riego en un 87,5%, permitira a los agricultores enfocarse en otras actividades productivas. Asimismo, se sugiere la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y la inclusión de nuevas variables climáticas para mejorar la precisión y adaptabilidad del sistema a distintos cultivos.

Palabras clave: riego inteligente, LoRaWAN, IoT, automatización, eficiencia hídrica, microcontroladores ESP32.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “Diseño e implementación de un Sistema de Riego Rotativo Inteligente Mediante LORAWAN E IOT en la Parroquia Rural Belisario Quevedo, Latacunga.”

Authors:

Rodríguez Vizcaino Emilio Jose

Tutillo Tutillo Damian Guillermo

ABSTRACT

This technological proposal focuses on the development and implementation of a rotary irrigation system that uses IoT programming, located in the rural parish of Latacunga, Belisario Quevedo. Its primary purpose is to optimize water use in agricultural work through an automated system that allows remote monitoring and control of irrigation, which will increase water efficiency and minimize waste of the resource, as there is currently a great deal of water waste and excessive hours spent on manual irrigation. The system was implemented with IoT devices linked to a Heltec LoRa 32 V3 board, which enabled data transmission over long distances, reaching up to 1 km in LoRa communication, with reduced energy consumption. A sensor infrastructure was designed to analyze essential parameters, such as water flow and pressure, and a control system based on ESP32 microcontrollers was integrated for the inspection and management of solenoid valves. In addition, a real-time monitoring platform accessible from the Telegram application was developed to facilitate irrigation management for farmers. The effectiveness of the system was evaluated using experimental methodologies, such as connection tests and adjustment of sensor transmission parameters, and methodologies based on data analysis, which made it possible to verify the reliability of the system and its impact on water efficiency. The results showed that the proposed system reduces water consumption by 50%, improves farmers' autonomy, optimizes water yield in remote areas with restricted access, and reduces the time spent on irrigation by 87.5%, allowing farmers to focus on other productive activities. Furthermore, the implementation of preventive maintenance strategies and the inclusion of new climate variables are suggested to improve the accuracy and adaptability of the system to different crops.

Key words: smart irrigation, LoRaWAN, IoT, automation, water efficiency.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA**” presentado por los estudiantes Emilio Jose Rodríguez Vizcaino y Damian Guillermo Tutillo Tutillo, egresados de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2025

Atentamente,



Mg. Bolívar Cevallos Galarza.
Docente del Centro De Idiomas-UTC
C.C: 0910821669





UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



FACULTAD DE
CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

CERTIFICACION DE INFORME DE SIMILITUD

En la calidad del tutor de la Propuesta tecnológica sobre el título **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA.”**, de **Rodríguez Vizcaino Emilio Jose** y **Tutillo Tutillo Damián Guillermo**, de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin , con un porcentaje de coincidencia del 5% expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

Ing. Freire Andrade Verónica Paulina Ms.C.

C.C:0502056229

Tutora

CERTIFICADO DE TURNITIN



5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 14 words)

Top Sources

- 5% Internet sources
- 0% Publications
- 1% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.



Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Contenido

DECLARACIÓN DE AUDITORIA	ii
AVAL DE TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	x
CERTIFICADO DE SIMILITUD	xi
CERTIFICADO DE TURNITIN.....	xii
ÍNDICE.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
ESTRUCTURA DEL PLAN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	1
INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Situación Problemática	3
1.1.1. Diagrama de Ishikawa.....	4
1.2. Formulación del problema	4
1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4

1.3.1. Objeto de Investigación	4
1.4. BENEFICIARIOS.....	5
1.4.1. Beneficiarios directos.....	5
1.4.2. Beneficiarios indirectos	5
1.5. JUSTIFICACIÓN	5
1.6. VARIABLES	6
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	6
1.7. OBJETIVOS	7
1.7.1. Objetivo general.....	7
1.7.2. Objetivos específicos	7
1.7.3. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	8
MARCO TEÓRICO	11
1.8. ANTECEDENTES	11
1.8.2. Agricultura inteligente	15
1.8.3. Agricultura Inteligente con IoT	15
1.8.4. Requisitos para actividades agrícolas basadas en IoT	16
1.8.5. Tipos de Sensores Agrícolas y su Función	17
1.8.6. Teoría de control	19
1.8.7. Aplicabilidad de la teoría de control a las prácticas de riego	19
1.9. Módulo LORAWAN	20
1.9.1. Características Técnicas de LoRaWAN.....	21

1.9.2. Ventajas y Desventajas del Uso de LoRaWAN.....	21
1.9.3. Aplicaciones del Módulo LoRaWAN.....	22
1.9.4. Seguridad en LoRaWAN	22
1.9.5. Tendencias y Futuro de LoRaWAN	23
1.10. TELEGRAM.....	23
1.10.1. Características Técnicas y Funcionales	23
1.10.2. Seguridad y privacidad	24
1.11. Electroválvulas en Sistemas de Riego	24
1.11.1. Funcionamiento y Componentes de las Electroválvulas	25
1.11.2. Riego por Aspersión	26
2. METODOS Y PROCEDIMIENTOS	27
2.1. METODOLOGIA	27
2.1.1. Análisis del Problema y Justificación	27
2.2. Diseño del Sistema de Riego Inteligente	32
2.2.1. Diagrama P&ID del sistema de riego automatizado.....	33
2.2.2. Distribución de componentes hídricos para el sistema de riego	35
2.2.3. Diseño Electrónico de las placas en EasyEDA.....	35
2.2.4. Implementación y Pruebas de Campo.....	38
2.3. Evaluación y Optimización del Sistema	41
2.3.1. Introducción y Definición del autor	41
2.3.2. Relación con el tema, Evaluación y Optimización	41

2.4. Análisis Económico y Viabilidad del Proyecto	42
2.4.1. Evaluación Técnica.....	42
2.4.2. Evaluación Social.....	42
2.4.3. Evaluación Ambiental.....	42
2.4.4. Documentación y Presentación de Resultados	43
2.4.5. Descripción del proyecto	43
2.5. Equipos, materiales y herramientas utilizados.....	48
2.5.1. Equipos Electrónicos	48
2.6. Evaluación técnico, social, ambiental y/o económica	54
2.6.1. Evaluación Técnico.....	54
2.6.2. Social.....	55
2.6.3. Ambiental.....	55
2.6.4. Económico (Gastos directos.)	56
2.6.5. Presupuesto: Gastos indirectos (Mano de obra).....	57
2.6.6. Presupuesto: Gastos indirectos (Mano de obra).....	58
3. ANÁLISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	59
3.1. Presupuesto y Costos Directos.....	66
3.1.1. Costos de mano de obra.....	67
3.1.2. Total, de costos directos	68
3.1.3. Costos indirectos	68
3.2. Cálculo del VAN Y TIR	69

4. CONCLUSIONES DEL PROYECTO	70
4.1. CONCLUSIONES	70
4.2. RECOMENDACIONES.....	70
4.3. BIBLIOGRAFÍA	71
5. ANEXOS	76
7.1 Diseño y colocación de Electroválvulas y sensores en la tubería.....	82
1.2 Implementación de electroválvulas sensores de presión	82
5.1. Verificación de fugas y funcionamiento en electroválvulas	83
5.2. Modelo final de la implementación del prototipo.....	83
5.3. Instalación de tubería para la tercera Electroválvula	84
5.4. Implementación de conexión y mangueras de aspersores	84
5.5. Instalación del 2 modulo para la comunicación LoRaWAN	85
5.6. Implementación de la tercera electroválvula con sus respectivos sensores de presión.....	86
5.7. Funcionamiento de aspersores mediante IoT mediante la aplicación de Telegram	87
PASOS PARA INSTALAR DE TELEGRAM	88
PASOS PARA CONFIGURAR LA RED WIFI A LA PLACA PRINCIPAL	90
PASOS PARA EL CONTROL EL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE TELEGRAM	94
5.7.1. PASOS PARA EL CONTROL MANUAL.....	97
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA COMPOSTERA	99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
--------------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa	4
Figura 2. Diagrama de bloques Funcionamiento del Sistema de riego.....	32
Figura 3. Diagrama P&ID del sistema de riego en Belisario Quevedo	34
Figura 4. Módulos Heltec LoRa 32 v3.....	49
Figura 5. Electroválvula.....	50
Figura 6. Sensores de Flujo YF-B5 G3/4.....	51
Figura 7. Sensor G 1/4 -1.6mpa	52
Figura 8. Relés de Control	52
Figura 9. Datos recolectados durante un mes	61
Figura 10. Datos recolectados durante un mes	64
Figura 11. Distribución física del sistema de riego automatizado	76
Figura 12. CPC (Caja Principal de Control) del sistema de riego automatizado.....	77
Figura 13. Placa 1: CPC-001	78
Figura 14. Placa 2: CPC-002	78
Figura 15. CRC (Caja Remota de Control) del sistema de riego automatizado	79
Figura 16. Placa 3: CRC-001	79
Figura 17. Placa 4: CRC-002	80
Figura 18. Diagrama de interconexión de la caja de control	80
Figura 19. Ubicación de los aspersores en Belisario Quevedo.....	81
Figura 20. Diseño y colocación de electroválvulas y sensores en la tubería	82
Figura 21. Implementación de electroválvulas y sensores presión.....	82
Figura 22. Verificación de fugas y funcionamiento en electroválvulas.....	83
Figura 23. Modelo final de la implementación del prototipo	83
Figura 24. Instalación de tubería para la tercera Electroválvula.....	84

Figura 25. Implementación de conexión y manguera de aspersores	84
Figura 26. Implementación del módulo LoRaWAN para el perifoneo de placas.....	85
Figura 27. Instalación del 2 modulo para la comunicación LoRaWAN.....	85
Figura 28. Implementación de la tercera electroválvula con sus respectivos sensores de presión.	86
Figura 29. Aspersor instalado en la 2 planta del terreno.....	86
Figura 30. Funcionamiento de aspersores mediante IoT mediante la aplicación de Telegram	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas.....	8
Tabla 2. Resumen de Características, Aplicaciones, Ventajas y Desafíos del IoT Inteligente	14
Tabla 3. Requisitos para la Implementación de Actividades Agrícolas Basadas en IoT.....	16
Tabla 4. Tipos de Sensores Agrícolas y su Función	18
Tabla 5. Matriz requisitos del sistema de riego en Belisario Quevedo.....	27
Tabla 6. Comparación de materiales placa de control	28
Tabla 7. Comparación de material Electroválvulas	29
Tabla 8. Comparación de material sensor flujo	30
Tabla 9. Comparación de material sensor de presión	31
Tabla 10. Componentes vinculados al diagrama de bloques	33
Tabla 11. Dispositivos y sensores implementados	34
Tabla 12. Componentes del sistema Hídrico	35
Tabla 13. Componentes soldados a las placas del sistema de riego automatizado.....	37
Tabla 14. Componentes integrados a las Cajas 1,2.....	39
Tabla 15. Lista de materiales de comunicación	56
Tabla 16. Equipos de instalación dentro del terreno.....	57
Tabla 17. Implementación del sistema de riego automatizado	57
Tabla 18. Dispositivos de comunicación y desarrollo de aplicación	58
Tabla 19. Resumen de ahorro Comparativo Mensual.....	59
Tabla 20. Tabla de datos recolectados durante un mes.....	60
Tabla 21. Tabla comparativa de las horas diarias de trabajo registradas durante un mes	62
Tabla 22. Presupuesto y Costos Directos.....	66
Tabla 23. Costos de mano de obra	67
Tabla 24. Inversión total	68

Tabla 25. Costos indirectos.....	68
Tabla 26. Costo Total.....	68
Tabla 27. cálculo del TIR y el VAN.....	69

ESTRUCTURA DEL PLAN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Trabajo de Titulación: “Diseño e implementación de un sistema de Riego Rotativo Inteligente mediante LoRaWAN e IoT en la Parroquia Rural Belisario Quevedo, Latacunga.”

Fecha de inicio: Marzo 2025

Fecha de finalización: Agosto 2025

Lugar de ejecución: Parroquia Rural Belisario Quevedo, Latacunga

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado: Monitoreo, automatización e IoT de prototipos Electromecánicos en procesos agropecuarios y del medio ambiente.

Equipo de Trabajo: Rodríguez Vizcaino Emilio José,

Tutillo Tutillo Damian Guillermo

Tutor: MSc. Ing. Verónica Paulina Freire Andrade

Postulantes: Rodríguez Vizcaino Emilio Jose,

Tutillo Tutillo Damian Guillermo

Área de Conocimiento: 06 información y Comunicación (TIC)

061 Información y Comunicación (TIC)

0611 el uso del Ordenador

0612 base de datos, diseño y administración de redes

0613 software y desarrollo y análisis de aplicativos

0713 electricidad y energía

0714 electrónica y Automatización

Línea de investigación: Proceso de Automatización

Sublínea de investigación: Diseño e implementación de prototipos y sistemas electromecánicos.

1. INTRODUCCIÓN

Desde su incorporación en la gestión de medios de información, ya sean de voz, datos o incluso de internet, la comunicación inalámbrica ha ganado un gran reconocimiento como vía de conexión entre diversos dispositivos, como por ejemplo en Sistemas Domóticos, bajo Bluetooth, Infrarrojos, Frecuencia de la Radio, Wifi, entre otros.

Su aceptación prosperó debido a su sencilla manipulación, es decir, su capacidad para moverse sin los incómodos cables dentro de su espacio permitido.

Con la comunicación sin cables y la interconexión del puerto serie y aparatos implementados como el sistema IoT y módulos LoRaWAN, se pudo crear el proyecto "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO ROTATIVO INTELIGENTE MEDIANTE LORAWAN E IOT EN LA PARROQUIA RURAL BELISARIO QUEVEDO, LATACUNGA", el proyecto comprende la comunicación inalámbrica a través de la frecuencia de banda libre de 915 MHz, con un alcance de 200m en línea de vista y de 40 a 60 metros sin línea de vista. El panel principal recibe información del flujo de agua, control de nivel que a su vez transmite señal al Heltec LoRa 32 para su comunicación inalámbrica responsable de conectarse a internet y simplificar el control de las electroválvulas a través de TELEGRAM.

Dada la demanda en la agricultura y particularmente la constancia que conlleva permanecer en lugares que necesitan un riego regular y constante, para prevenir que los productos se deterioren, agropecuarios se deterioren o, en última instancia, se pierdan completamente, surge la necesidad de automatizar un sector mediante un sistema de riego. Este sistema gestiona las diversas zonas de siembra con varios sensores que interactúan con un Microcontrolador que realiza las decisiones.

Con el apoyo de los sistemas domóticos que todos podemos tener, ya sea en la automatización de viviendas para facilitar el trabajo en el hogar, surge la idea del control de riego a través de esta tecnología. "Si se utiliza la domótica para el beneficio de las personas en el hogar", también tiene la capacidad de asistir a las personas en el campo y, al mismo tiempo, facilitar y permitir que no estén tan pendientes de ellos para poder realizar tareas extra o paralelas simultáneamente.

1.1. Situación Problemática

Existe el desperdicio de agua debido al riego manual, falta de control y precisión en el riego en la parroquia Belisario Quevedo, los agricultores utilizan baldes o mangueras para regar sus cultivos lo que afecta a la productividad debido al riego manual. Las principales causas que originan el problema se detallan a continuación:

Mediciones: La ausencia de instrumentos adecuados para medir caudal y presión impide un control eficiente del riego, derivar en una distribución desigual del agua.

Materiales: El deterioro de tuberías, aspersores y válvulas de agua compromete el rendimiento del sistema, generar pérdidas y afectar la cobertura del riego.

Máquinas: La infraestructura agrícola de riego carece de automatización, lo que limita su eficiencia y obliga a un monitoreo manual poco preciso.

Mano de Obra: La dedicación exclusiva al riego manual reduce la productividad agrícola, aumentar las horas de trabajo y limitar la diversificación de actividades productivas.

Esta situación podría abordarse con soluciones como sistemas de riego automatizados o semiautomatizados, adoptar tecnologías que permitan la optimización del uso del agua, el control remoto y la automatización del proceso para garantizar una producción agrícola eficiente y sostenible.

1.1.1. Diagrama de Ishikawa

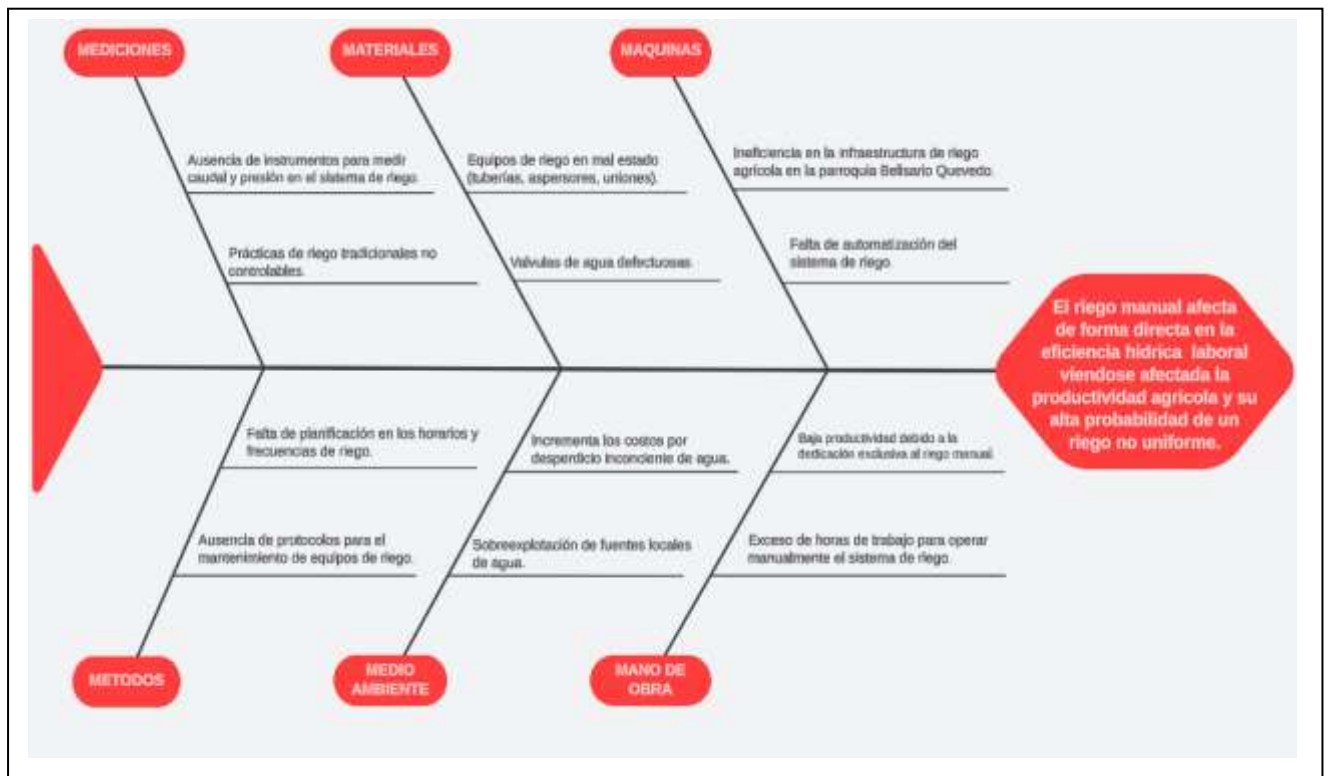


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

1.2. Formulación del problema

El riego manual en terrenos agrícolas presenta limitaciones como la falta tiempo, el desperdicio de agua distribuida de manera desigual que afecta a la productividad de los cultivos. Por lo tanto, se identifica la necesidad de diseñar e implementar un sistema de riego rotativo que utilice tecnologías IoT y LoRaWAN, para la parroquia rural de Belisario Quevedo Latacunga.

1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

1.3.1. Objeto de Investigación

Sistema de riego rotativo automatizado.

1.3.1.1. Campo de Acción

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, la propuesta tecnológica abarca los siguientes campos de acción:

3311.01 Tecnología de la Automatización

3311 tecnología de la Instrumentación [1]

1.4. BENEFICIARIOS

1.4.1. Beneficiarios directos

Los principales beneficiarios directos son los habitantes de la Parroquia Rural Belisario Quevedo, ubicada en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. Según datos del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Belisario Quevedo, la población es de 7,145 habitantes. La implementación del sistema de riego rotativo inteligente busca optimizar el consumo de agua. [2]

1.4.2. Beneficiarios indirectos

La comunidad científica que a futuro se requiera recopilar información, que necesiten para reducción de costos y minimizar el impacto ambiental del riego excesivo, de tal manera que otros investigadores tengan como referencia el proyecto.

Además de la comunidad científica, también se deben considerar como beneficiarios indirectos a los estudiantes de la facultad CIYA de la Carrera de Ingeniería Electromecánica interesados en el proyecto, ya que podrán utilizarlo como referencia para futuras investigaciones y aplicaciones tecnológicas.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Se busca desarrollar un sistema de riego automatizado que responda a las necesidades de pequeños agricultores y productores agrícolas. Este proyecto pretende facilitar el trabajo en

el campo, eliminar el esfuerzo físico que supone el riego manual y optimizar el uso de recursos como el agua y el tiempo. Con esta solución, se espera no solo mejorar la productividad de los cultivos, sino también liberar a los agricultores de tareas repetitivas, permitiéndoles dedicar más tiempo a otras actividades esenciales.

El sistema está diseñado para ser accesible y eficiente. A través de sensores inteligentes, será capaz de medir el caudal de agua, ajustar automáticamente la cantidad necesaria para suministrar a los cultivos. Esto no solo reducirá el desperdicio de agua, sino que garantizará diferentes sembríos, y que reciba exactamente lo que necesita promover un crecimiento más saludable y sostenible.

Este proyecto también busca fortalecer la autonomía de los pequeños agricultores. Gracias a la tecnología implementada, podrán gestionar el riego de sus campos de forma remota desde una aplicación móvil, programar horarios y monitorear el sistema sin necesidad de estar físicamente presentes. Además, el diseño será modular y de bajo mantenimiento, pensado para facilitar su uso y garantizar su durabilidad.

En última instancia, este sistema no solo representa un avance tecnológico, sino también un compromiso con la mejora de las condiciones de vida de las comunidades agrícolas. Al reducir costos, aumentar la productividad y promover prácticas sostenibles, se contribuye al desarrollo económico y ambiental de quienes dependen de la agricultura para su sustento.

1.6. VARIABLES

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Diseño e implementación de un sistema de riego rotativo con IoT.

1.6.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Control del caudal de agua y disminuir el tiempo de productividad en el riego.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo general

Implementar un sistema de riego rotativo inteligente mediante LoRaWAN e IoT en la parroquia rural Belisario Quevedo, Latacunga, con el fin de optimizar el consumo de agua a través del uso de sensores de presión y disminuir el exceso de horas de trabajo.

1.7.2. Objetivos específicos

- Investigar en diversas fuentes bibliográficas sobre el funcionamiento de un sistema de riego automatizado y la comunicación LoRa.
- Diseñar un sistema de riego inteligente que distribuya el agua de manera uniforme en un área determinada, optimizando el tiempo de riego de los aspersores en función de las necesidades específicas del terreno.
- Implementar el prototipo el cual me permita la evaluación de desempeño del riego inteligente que disminuirá el riego excesivo.
- Validar la eficiencia y efectividad del sistema de riego inteligente mediante pruebas y análisis de desempeño, asegurando su impacto positivo en la optimización del uso del agua y la reducción del desperdicio.

1.7.3. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividad (tareas)	Resultado esperado	Técnicas, medios e instrumentos
Investigar en diversas fuentes bibliográficas sobre el funcionamiento de un sistema de riego automatizado y la comunicación LoRa.	Compilación de información en libros, artículos científicos y tesis relacionadas con riego automatizado y tecnología LoRa.	Matriz de los antecedentes investigados.	Revisión bibliográfica sistemática usando bases de datos académicas (IEEE, Scopus, Google Scholar) y bibliotecas digitales, con fichas bibliográficas y software de gestión de referencias (Mendeley o Zotero).
Diseñar un sistema de riego inteligente que distribuya el agua de manera uniforme en un área determinada, optimizando el tiempo de riego de los aspersores en función de las necesidades específicas del terreno.	Se identifican las necesidades del sistema de riego, como cantidad de agua y tiempo de Riego.	Matriz de requerimientos del sistema, que detalle los parámetros operativos (agua por riego y horarios de funcionamiento)	Análisis de requerimientos bases de datos técnicas, utilizando fichas técnicas para detallar especificaciones operativas.
	Se seleccionan los componentes para el sistema de riego como sensores, microcontrolador Heltec LoRa 32 v3 y electroválvula.	Matriz comparativa de componentes evaluados con especificaciones técnicas y selección final justificada.	Selección basada en criterios técnicos, utilizando fichas de fabricantes, evaluados mediante tabla comparativa con enfoque a consumo compatibilidad y disponibilidad.
	Ubicación de cada componente del sistema de riego en un diseño creado con AutoCAD.	Plano en AutoCAD con la distribución de componentes, medidas de tuberías, ubicación de aspersores y conexiones.	Se aplicó diseño asistido por computadora mediante el software AutoCAD, utilizando plantillas de diseño y especificaciones técnicas de los componentes para elaborar la representación gráfica del sistema.

	Diseño de la placa PCB en EasyEDA incorporando el microcontrolador, resistencias, molex, relés, etc.	Diseño validado de la placa PCB en EasyEDA con conexiones correctas y compatibilidad con los componentes del sistema.	Se desarrolló el diseño electrónico utilizando el software EasyEDA, la simulación de la PCB y la lista de componentes para definir la arquitectura del circuito.
Implementar el prototipo el cual me permita la evaluación de desempeño del riego inteligente que disminuirá el riego excesivo.	Ubicación del cableado subterráneo de alimentación de 110V para el módulo del sistema de riego.	Sistema de alimentación eléctrica estable y segura, con cableado correctamente instalado y protegido.	La instalación eléctrica se llevó a cabo utilizando cables, tuberías tipo conduit y un multímetro, aplicando pruebas de continuidad y voltaje conforme a la normativa vigente.
	Ensamblaje de la caja de control del sistema de riego.	Caja de control ensamblada, con todos los componentes electrónicos protegidos y operativos.	El ensamblaje mecánico del sistema se realizó empleando una caja de protección IP55 y herramientas manuales, seguir el plano de ensamblaje y verificando cada componente mediante un checklist técnico para asegurar una instalación precisa y segura.
	Instalación del sistema hídrica, asegurándonos de no tener fugas en las uniones de codos, electroválvulas, sensores de flujo, sensor de presión, manguera y aspersores.	Sistema hidráulico sin fugas, con distribución eficiente del agua.	La instalación hídrica se ejecutó con tuberías, conectores y selladores adecuados, aplicando pruebas de presión e inspección visual para validar las conexiones.
	Conexión eléctrica de la caja de control a cada uno de los sensor y electroválvulas.	Conexión eléctrica funcional y comunicación eficiente entre la caja de control, sensores y electroválvulas.	Respuesta de los sensores, medición de voltaje en las conexiones y prueba de funcionamiento del sistema.

	Colocación estratégica de los aspersores para un riego uniforme.	Análisis de eficiencia del agua en el área de riego, con distribución optimizada.	Diseño de distribución de riego posicionando estratégicamente los aspersores según distancias de cobertura y orientación, para lograr una distribución uniforme.
Validar la eficiencia y efectividad del sistema de riego inteligente mediante pruebas y análisis de desempeño, asegurando su impacto positivo en la optimización del uso del agua y la reducción del desperdicio.	Verificación y funcionamiento del sistema en diferentes condiciones y documentar datos de consumo de agua.	Informe técnico con datos cuantitativos del consumo de agua, eficiencia y desempeño del sistema en diversos escenarios.	Las pruebas de campo se realizaron con sensores de flujo, recopilando datos para generar tablas y gráficos comparativos que permitieron evaluar el comportamiento del sistema.
	Comprobación y activación del riego según los parámetros establecidos.	Sistema de riego que activa/desactiva automáticamente según las condiciones programadas, con registros de funcionamiento.	Pruebas en campo y revisión de registros de activación.

MARCO TEÓRICO

1.8. ANTECEDENTES

A continuación, se presentan antecedentes investigativos sobre sistemas de riego inteligente mediante tecnologías IoT y LoRaWAN en Ecuador, basados en tesis relevantes:

Freire y Chávez realizaron en 2021 el proyecto "Diseño e implementación de un sistema IoT prototipo para el control de riego por goteo y fumigación por aspersión en cultivos de invernadero". En este estudio, se puso en marcha un prototipo de IoT para supervisar y regular el riego y la fumigación de cultivos de invernadero mediante una aplicación móvil, logrando reducir en un 40% el tiempo de intervención presencial del empleado. El sistema utilizó sensores para registrar la temperatura y el nivel de agua, conectados a un módulo NodeMCU que enviaba información en tiempo real a través de la aplicación Blynk y almacenaba datos en la base de datos Things. Se monitorearon tanto a distancia como remotamente los sistemas de riego y fumigación, demostrando eficiencia con un consumo optimizado de 1.6 L/min para riego y 0.34 L/min para fumigación, además de un retraso mínimo de 1 segundo en la comunicación. Se deduce que el prototipo maximiza los recursos de agua y trabajo, sugiriendo la incorporación de un control de temperatura para potenciar el rendimiento [3]

En 2023, los autores Nieto y Pazmiño, bajo el título "Aplicación Web de administración de base de datos y de aplicación de aprendizaje de máquina en línea para un sistema IoT de riego inteligente", indican que la agricultura de precisión, vital para potenciar la sostenibilidad y productividad de las cosechas, encuentra en los sistemas de riego inteligente basados en IoT un instrumento esencial para maximizar los recursos disponibles. Esta exposición propone un sistema que utilice el aprendizaje automático para tomar decisiones eficientes en relación al riego. Incluye una aplicación digital que simplifica la monitorización y administración del riego, junto con una arquitectura de hardware que recoge datos ambientales en tiempo real a

través de sensores. Estos se guardan en bases de datos locales y en la nube. Esta información se analiza para identificar tendencias climáticas, tales como las precipitaciones y la temperatura, optimizando los métodos de riego y asegurando que los cultivos reciban agua en el momento adecuado. La investigación enfatiza la relevancia de potenciar la eficiencia en el riego agrícola mediante tecnologías innovadoras, evidenciando que el sistema establecido puede tomar decisiones correctas, simplificar la gestión del riego y optimizar el uso de agua y energía. Esto es resultado del aumento en la demanda de integrar IoT en sistemas de irrigación, promover una agricultura más inteligente y sostenible. [4]

En su libro "Estudio del uso del agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, fundamentado en la necesidad de agua de cultivos y la zona regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana", Nieto señala que el riego agrícola emplea cerca del 70% del agua dulce disponible a nivel global, un porcentaje similar al de Ecuador, lo que resalta la importancia de optimizar su uso. Este estudio evaluó la efectividad del uso del agua para irrigación en dos áreas de la Sierra de Ecuador: Cayambe, también conocido como Cangagua, y Latacunga. Los descubrimientos señalaron en Cangagua, se notó que el 95% de los agricultores carecen del agua requerida para satisfacer las necesidades de sus cosechas. regando áreas más amplias de las que deberían. En contraste, en Mulaló, el 83% de los agricultores hacen uso de más agua de la requerida, superando las necesidades de los cultivos. Estos déficits, ya sean por falta o por sobreabundancia de agua, se atribuyen en cierta medida al reparto justo de agua en las comunidades, que no toma en cuenta aspectos técnicos como la tierra apta para el riego y los volúmenes necesarios. [5]

Rosero y Loza, responsables del asunto "Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes": "Aplicación" Este análisis aborda los desafíos de la agricultura urbana mediante la construcción de una red IoT basada en la tecnología LoRa, ideada para optimizar la supervisión y gestión de cultivos en entornos urbanos. El propósito de la

investigación es potenciar la eficiencia en la agricultura a través de tecnologías avanzadas que permitan una administración precisa de recursos. Su meta principal es crear una puerta de enlace para recopilar y analizar datos en tiempo real. El estudio inicia con una revisión actualizada de la literatura relativa a IoT y LoRa, seguida de la orquestación de la red y la ejecución de pruebas funcionales que validan los parámetros de desempeño. Los resultados obtenidos evidencian que la infraestructura permite la adquisición de datos en tiempo real, y que su diseño modular responde de forma óptima a los desafíos propios del entorno urbano, contribuyendo a una gestión agronómica más precisa. Se propone que esta plataforma puede replicarse en otras urbes, formando un componente de parques tecnológicos que alimenten las iniciativas de ciudades inteligentes y de agricultura sustentable. Futuros trabajos podrían investigar variantes de arquitectura e integrar algoritmos avanzados, ampliando las capacidades operativas y los cuellos de botella que los avances técnicos aún deben salvar. [6]

Montaluisa y Vargas exponen en el trabajo titulado “Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para incrementar la productividad de los cultivos a través de energía solar fotovoltaica” una solución de red IoT fundamentada en la tecnología LoRa orientada a los retos que presenta la agricultura periurbana y a la mejora de la supervisión y gestión de cultivos bajo estas condiciones. Motivados por la necesidad urgente de actualizar los procesos agrícolas mediante tecnologías contemporáneas, el equipo puso en funcionamiento una puerta de enlace IoT que unifica la adquisición y análisis de datos en tiempo real. Mediante la disposición escalonada de nodos, se sometió a la red a distintos escenarios, comprobando su facultad de ajustarse al tejido urbano y de optimizar los protocolos de gestión agrícola. Los resultados puestos de relieve un seguimiento puntual y en continuo, así como la posibilidad de escalar la solución a otras entidades urbanas, reafirmando el compromiso con la agricultura sostenible en la lógica de las ciudades inteligentes. Los autores sugieren la continuidad en la

indagación de nuevos usos y avances tecnológicos para incrementar la versatilidad y el radio de actuación del sistema propuesto. [7]

1.8.1.1. Inteligencia IoT

La confluencia de la inteligencia artificial con el Internet de las Cosas articula la interconexión de dispositivos con el procesamiento analítico de datos en tiempo real, permitiendo la automatización de decisiones y la optimización de procesos. Esta sinergia simplifica la supervisión y el control en campos tan diversos como la atención sanitaria, la manufactura y la automatización del hogar. Mediante la mejora de la eficiencia operativa, la flexibilidad adaptativa y la prolongación de la vida útil de los recursos, la tecnología genera valor adicional; sin embargo, persisten obstáculos significativos en forma de brechas de ciberseguridad, la necesidad de estándares de interoperabilidad y los altos costes asociados a la integración inicial. [8]

Tabla 2. Resumen de Características, Aplicaciones, Ventajas y Desafíos del IoT Inteligente

Categoría	Aspecto	Descripción
Características Principales	Interconectividad	Los dispositivos están en red, comunicándose entre sí y con plataformas centrales.
	Automatización	La recopilación, análisis y respuesta basada en datos es autónoma.
	Escalabilidad	Los sistemas pueden expandirse fácilmente, añadir más dispositivos o funciones.
	Análisis en tiempo real	Permite respuestas inmediatas a situaciones específicas, como alertas de fallos o ajustes operativos.
Aplicaciones	Agricultura inteligente	Sensores para riego, monitoreo de cultivos y optimización de recursos.
	Hogar inteligente	Dispositivos como termostatos, cámaras y asistentes virtuales que mejoran la comodidad y eficiencia energética.
	Ciudades inteligentes	Gestión del tráfico, alumbrado público y sistemas de seguridad conectados.

Ventajas	Salud	Monitoreo remoto de pacientes y dispositivos médicos conectados para alertas en tiempo real.
	Industria 4.0	Gestión de líneas de producción con sensores y sistemas predictivos para mantenimiento.
	Eficiencia operativa	Reduce desperdicios y mejora la productividad.
	Optimización de recursos	Permite un uso más sostenible de insumos como agua, energía y materiales.
Desafíos	Personalización	Ofrece soluciones adaptadas a necesidades específicas basadas en datos precisos.
	Seguridad de datos	La interconexión crea vulnerabilidades ante ciberataques.
	Costos iniciales	La implementación puede ser costosa para pequeñas empresas o comunidades.
	Interoperabilidad	Garantizar que dispositivos de diferentes fabricantes trabajen juntos eficientemente.

Nota: Esta tabla resume las principales características, aplicaciones, ventajas y desafíos del Internet de las Cosas (IoT) en su implementación inteligente, destacar su impacto en sectores clave y los retos asociados a su adopción. **Fuente:** Basado en las definiciones de [9]

1.8.2. Agricultura inteligente

La agricultura inteligente, también conocida como agricultura de precisión, se refiere al uso de tecnologías avanzadas como sensores, drones, sistemas GPS, Big Data e Internet de las Cosas (IoT) para monitorear, analizar y gestionar de manera eficiente los recursos agrícolas, incrementar la producción y reducir el impacto en el entorno. Esta metodología permite a los agricultores tomar decisiones basadas en datos en tiempo real, lo cual potencia la sostenibilidad y la eficiencia de las tareas de campo. [10]

1.8.3. Agricultura Inteligente con IoT

La agricultura inteligente respaldada por IoT conecta dispositivos distribuidos en el campo a través de sensores, redes de comunicación y capacidades analíticas, permitiendo a los agricultores monitorizar y optimizar cada etapa de producción. Este enfoque promueve una gestión más precisa del agua, de los insumos y del clima, traduciendo las mediciones en acciones automatizadas que reducen el desperdicio y los costes. Los elementos que componen

el sistema abarcan transductores que miden humedad del suelo, temperatura del aire y concentraciones de elementos nutritivos; medios de transmisión como Wi-Fi rural, LoRaWAN y 5G; plataformas de procesamiento que aplican algoritmos de Big Data y aprendizaje automático para identificar patrones; y actuadores que regulan el riego, la fertilización y el control de plagas mediante dosis específicas y programadas. Sus aplicaciones incluyen riego automatizado, monitoreo de cultivos, gestión de ganado, estimación de rendimientos y gestión de recursos. por medio de beneficios como aumento en la eficiencia, mejora de la productividad y promoción de la sostenibilidad. Sin embargo, se enfrenta a desafíos al relacionarlo con altos costos iniciales, escasa infraestructura en zonas rurales y preocupaciones respecto a la privacidad y salvaguarda de datos [11]

1.8.4. Requisitos para actividades agrícolas basadas en IoT

La implementación de actividades agrícolas basadas en IoT requiere la inclusión de diversos elementos tecnológicos, organizativos y financieros para garantizar su eficiencia y sostenibilidad. Estas demandas tienen como objetivo mejorar los procesos agrícolas mediante el uso de sensores, plataformas de análisis y una conectividad avanzada, asegurar una toma de decisiones basada en datos en tiempo real. A continuación, se presenta una tabla que detalla los requerimientos básicos. [12]

Tabla 3. Requisitos para la Implementación de Actividades Agrícolas Basadas en IoT

Categoría	Requisito	Descripción
Infraestructura Tecnológica	Sensores agrícolas	Dispositivos para medir parámetros como humedad del suelo, temperatura, niveles de nutrientes y clima.
	Actuadores	Equipos para realizar acciones automáticas como riego, fertilización o aplicación de pesticidas.

	Red de conectividad	Tecnologías como Wi-Fi, LoRa, 4G/5G o redes satelitales para conectar dispositivos en áreas remotas.
Plataformas de Gestión	Software de análisis de datos	Herramientas basadas en Big Data e Inteligencia Artificial para interpretar información y generar recomendaciones.
	Interfaz de usuario	Aplicaciones móviles o de escritorio para visualizar datos y controlar dispositivos en tiempo real.
Capacitación y Conocimiento	Capacitación técnica	Formación para agricultores sobre el uso, mantenimiento y beneficios de la tecnología IoT.
	Soporte técnico	Disponibilidad de asistencia para solucionar problemas operativos o técnicos.
Recursos Financieros	Presupuesto inicial	Fondos para adquirir sensores, actuadores, plataformas y sistemas de conectividad necesarios.
	Mantenimiento continuo	Recursos para garantizar la funcionalidad a largo plazo de los dispositivos y sistemas implementados.
Regulación y Seguridad	Cumplimiento normativo	Asegurar que las tecnologías cumplen con regulaciones locales de datos, privacidad y sostenibilidad.
	Seguridad de datos	Implementar medidas de protección contra accesos no autorizados y ciberataques.

Nota. Esta tabla describe los elementos esenciales para establecer actividades agrícolas basadas en IoT, enfocándose en infraestructura, gestión, capacitación, recursos y cumplimiento normativo [13]

1.8.5. Tipos de Sensores Agrícolas y su Función

Los sensores agrícolas resultan fundamentales en la agricultura inteligente, ya que simplifican la recopilación de datos en tiempo real sobre diversos factores que afectan el desarrollo y la

salud de las cosechas. La tabla a continuación presenta varios tipos de sensores relacionados con su función.

Tabla 4. Tipos de Sensores Agrícolas y su Función

Tipo de Sensor	Función	Aplicación
Sensores de humedad	Miden la cantidad de agua presente en el suelo, ayudar a gestionar el riego de manera eficiente.	Riego automatizado, gestión de agua y optimización de recursos hídricos.
Sensores de temperatura	Registran la temperatura del aire o del suelo, lo que es crucial para el crecimiento de los cultivos.	Monitoreo climático, control del ambiente de los cultivos y optimización de condiciones de crecimiento.
Sensores de pH	Miden la acidez o alcalinidad del suelo, lo que influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.	Análisis de la calidad del suelo y aplicación de fertilizantes o enmiendas para optimizar el pH.
Sensores de nutrientes	Detectan niveles de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo.	Monitoreo de la fertilidad del suelo, aplicación precisa de fertilizantes y mejoras en el rendimiento de los cultivos.
Sensores de radiación solar	Miden la cantidad de luz solar disponible para los cultivos.	Gestión de cultivos en invernaderos y optimización de la fotosíntesis de las plantas.
Sensores de CO2	Detectan la concentración de dióxido de carbono en el aire, importante para la fotosíntesis.	Control del ambiente en invernaderos, monitoreo de la salud de los cultivos.
Sensores de viento	Miden la velocidad y dirección del viento.	Gestión de riesgos climáticos, protección de cultivos frente a fuertes vientos y control de riego por aspersión.
Sensores de plagas	Detectan la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos.	Monitoreo de plagas, prevención de daños a los cultivos y aplicación dirigida de pesticidas.

Nota: Esta tabla resume los tipos de sensores más utilizados en la agricultura inteligente, destacar su función y aplicaciones para mejorar la productividad y sostenibilidad en el sector agrícola. [13]

1.8.6. Teoría de control

La teoría de control es una disciplina de la ingeniería y las matemáticas centrada en el funcionamiento de sistemas dinámicos y en la creación de estrategias que puedan influir en su comportamiento. Su objetivo principal es desarrollar métodos y recursos para controlar o gestionar el funcionamiento de un sistema en tiempo real, asegurar que conserve un comportamiento deseado o estable, a pesar de cambios externos o incertidumbres internas del sistema. Esta teoría es útil en diversas áreas como la automatización industrial, la robótica, la aviación y la ingeniería eléctrica, entre otras [14].

En teoría de control, los sistemas son descritos mediante representaciones matemáticas, y las intervenciones correctivas se materializan mediante controladores que modifican las variables de entrada a fin de alcanzar criterios de desempeño, tales como la minimización del error o la estabilización del sistema. El control se clasifica en abierto, que opera sin información de salida, y cerrado, que incorpora dicha información para reajustar las acciones en tiempo real y verificar el cumplimiento de las especificaciones [15]. El desarrollo de la teoría de control descansa en un repertorio variado de herramientas de análisis y síntesis, que abordan el comportamiento en el dominio temporal y en el frecuencial, y que implementan estrategias como el control PID, el control robusto o el control adaptativo [16].

1.8.7. Aplicabilidad de la teoría de control a las prácticas de riego

La teoría de control es fundamental en la gestión moderna del riego, pues permite seleccionar, dimensionar y ajustar los actuadores de tal modo que el consumo de agua y el desarrollo del espectro de raíces se mantengan dentro de los márgenes óptimos. Al pretender que se logre un perfil hídrico homogéneo, el controlador debe anticipar tanto las interacciones térmicas entre el forraje y la atmósfera como las respuestas estocásticas de la transpiración.

Los algoritmos de retroalimentación, por ejemplo, recalibran las tasas de inyección en función de las desviaciones del sensor de humedad en el suelo, logrando que el suministro responda a las exigencias fenológicas más exigentes. Integrar estos principios en el diseño de riego por goteo o aspersión minimiza la escorrentía y la evaporación, y asegura que cada planta reciba el riego que le corresponde en cada fase del crecimiento.

Una estrategia comúnmente adoptada es el control retroalimentado continuo, que integra información temporalmente restringida sobre el contenido de humedad del suelo para ajustar de inmediato las decisiones de riego. Al activarse o desactivarse el sistema hidráulico, la acción se fundamenta en lecturas de sensores que aseguran que la aplicación de agua quede dentro de límites operativos, evitando tanto el encharcamiento como la desecación. Complementariamente, se pueden incorporar estrategias de control adaptativo, que modifican las curvas de operación en respuesta a la variabilidad externa, como las precipitaciones, la temperatura del aire y la irradiación solar, por lo que la sostenibilidad del recurso hídrico se optimiza. En el caso de riego por goteo o aspersión, los algoritmos de supervisión permiten ajustar el lapso y la periodicidad de dosificación de agua en función de la demanda variable del cultivo. Tales rutinas pueden apoyarse en modelos matemáticos que, a partir de principios de teoría de control, permiten proyectar los requerimientos hidrológicos y ajustar la programación. Alternativamente, se puede recurrir a la estrategia clásica PID—que pondera el error actual, la integral de los errores previos y la anticipación del error futuro—para mantener el contenido de humedad en márgenes predefinidos, mejorando la convergencia del sistema de riego hacia un estado de equilibrio más preciso [16].

1.9. Módulo LORAWAN

LoRaWAN es un protocolo que articula comunicación de largo alcance junto a un gasto energético mínimo, pensada sobre todo para el horizonte del Internet de las Cosas. Su diseño permite que pequeños paquetes de datos crucen distancias extraordinarias, ventajas capitales

en entornos donde el vínculo remoto debe sostenerse a bajo coste y sin un drenaje continuo de batería [17]. El esquema de modulación subyacente, conocido simplemente como LoRa, exhibe una notable resistencia a la interferencia y garantiza que los mensajes puedan llegar de modo fiable a través de ámbitos bien distintos: rural, industrial o metropolitano.

1.9.1. Características Técnicas de LoRaWAN

LoRaWAN opera en bandas de radio no licenciadas, lo cual elimina las complejidades regulatorias que suelen frenar el despliegue internacional. Su alcance nominal, en condiciones óptimas, puede extenderse hasta 15 kilómetros en el sector rural y reducirse a cerca de 5 kilómetros en el entorno urbano denso una variabilidad atribuible al comportamiento robusto de la modulación LoRa. El diseño de esta modulación confiere alta sensibilidad, permitiendo que las señales sobrevivan a niveles significativos de interferencia.

La arquitectura de LoRaWAN se organiza en tres estratos funcionales. Los dispositivos finales-son capaces de captar fenómenos físicos, generar datos crudos y, en muchos casos, operar con voltajes mínimos. Las puertas de enlace actúan como puentes de nube, escuchar las tramas de radio y trasmitiéndolas a un servidor de red utilizar rutas IP convencionales. Por su parte, el servidor de red se convierte en el cerebro, gestionar el enrutamiento, aplicar políticas de seguridad y realizar la de-duplicación de mensajes, tareas que, aunque invisibles al usuario final, son esenciales para la integridad de la solución.

1.9.2. Ventajas y Desventajas del Uso de LoRaWAN

LoRaWAN ofrece varias ventajas que lo han hecho popular en el panorama IoT contemporáneo. Su diseño favorece el bajo consumo energético, lo que permite a dispositivos alimentado por batería operar durante años sin mantenimiento. La inversión inicial suele ser modesta si se la compara con opciones celulares, y la arquitectura permite que una sola puerta de enlace cubra amplias extensiones geográficas. Esto, por cierto, facilita la integración con

plataformas mayores, porque la mayoría de las pilas software ya dan por sentado que LoRaWAN estará presente. Se adapta muy bien a casos donde el envío esporádico de pequeños datagramas es la norma, por ejemplo, en sensores de calidad de aire o en balizas para gestionar la circulación urbana [18]

Sin embargo, la batería de beneficios no oculta que la tecnología también tiene tropiezos. La tasa bruta de bits es limitada, así que cualquier aplicación que necesite empujar flujos pesados en tiempo casi inmediato va a chocar con la alacranería de los 50 kilobits por segundo. Adicionalmente, el espectro no es infinito: en entornos urbanos muy compactos la superposición de tramas y la interferencia puntual pueden hacer que un nodo hable sin que nadie lo escuche, un fenómeno ya documentado por [19]

1.9.3. Aplicaciones del Módulo LoRaWAN

La tecnología LoRaWAN encuentra uso en campos tan dispares como la agricultura de precisión, la vigilancia de entornos urbanos, la evaluación remota de condiciones ambientales y la automatización de líneas industriales. En invernaderos, por ejemplo, la red permite seguir el riego, ajustar la humedad del suelo y, en último término, rastrear el camino que sigue cada planta hasta la mesa del consumidor [20]

Las ciudades que aspiran a ser inteligentes aprovechan este mismo protocolo para congrega los datos dispersos de farolas, sensores de tráfico y depósitos de basura, lo que a su vez simplifica la planificación de rutas de mantenimiento y ahorra energía en tiempo real [21] A escala fabril, el monitoreo continuo de bombas, motores y controladores viaja por la misma malla y brinda a los operadores pistas inmediatas sobre cómo ajustar el ritmo de producción.

1.9.4. Seguridad en LoRaWAN

La seguridad constituye un pilar fundamental en el diseño de LoRaWAN. El protocolo incorpora autenticación por clave de sesión y encriptación AES, pero sigue expuesto a ataques

de denegación de servicio y a la explotación de fallos en el software de los gateways [22] Para contrarrestar esas y otras amenazas, varios grupos de investigación experimentan con esquemas criptográficos post-cuánticos y con sistemas de detección de intrusos basado en machine learning

1.9.5. Tendencias y Futuro de LoRaWAN

La proyección de LoRaWAN es alentadora y apunta hacia una adopción masiva en fábricas inteligentes, ciudades conectadas y zonas rurales. La fusión del protocolo con redes 5G y con algoritmos de inteligencia artificial promete aumentar tanto la capacidad como la rapidez de respuesta de las aplicaciones desplegadas (Wang et al., 2022). Asimismo, el florecimiento de redes privadas permitirá a organizaciones y administraciones mantener el control sobre sus flujos de datos, lo que se traducirá en mayores niveles de privacidad y eficiencia operativa [23]

1.10. TELEGRAM

Telegram es un servicio de mensajería que nació en 2013 bajo la dirección de Pavel y Nikolai Durov, los mismos creadores de VKontakte. A pesar de entrar en un mercado ya poblado, la aplicación logró atraer usuarios gracias a su velocidad notable, a los canales abiertos y privados que aloja, y a una interfaz que se siente ligera en cualquier red. En un solo ecosistema, los clientes móviles y de escritorio permiten enviar texto, videos, documentos pesados e incluso hacer videollamadas en tiempo real [24].

1.10.1. Características Técnicas y Funcionales

Telegram opera sobre una arquitectura verdaderamente multidispositivo, permitir que una misma cuenta permanezca activa en celulares, tabletas, computadoras de escritorio e incluso navegadores web, todo con una sincronización casi instantánea. La plataforma también soporta grupos de hasta 200.000 miembros y canales unidireccionales que han demostrado ser

útiles en sectores tan diversos como la esfera política, el aula universitaria y las campañas comerciales [24]

. Por si fuera poco, los bots incorporado pueden automatizar una amplia gama de tareas, desde ofrecer soporte al usuario hasta ejecutar mini-juegos y facilitar operaciones de comercio electrónico dentro de la misma interfaz de chat [25]

1.10.2. Seguridad y privacidad

Telegram ha invertido recursos considerables en aislamiento criptográfico. En los llamados chats secretos, el cifrado de extremo a extremo garantiza que sólo los interlocutores posean la clave de lectura, por lo que un mensaje queda ciego para cualquier tercero, incluidos los propios servidores de la plataforma. En contraste, los diálogos ordinarios se cifran a vuelo, pero se almacenan en la nube de la empresa, un diseño que permite la sincronización entre dispositivos a costa de ceder un poco de control [25]

La popularidad de Telegram ha crecido en distintas esferas gracias a su flexibilidad inherente. En las interacciones cotidianas, por ejemplo, grupos de amigos, aficionado al cine o defensores del medio ambiente hallan en la aplicación un espacio donde rapidísimo comparten memes, archivos y enlaces. Los canales públicos, alimentados desde teléfonos sencillos o laptops, permiten a figuras como políticos, aclaradores y periodistas hacer llegar información a miles de seguidores sin más intermediarios

1.11. Electroválvulas en Sistemas de Riego

Las electroválvulas salmonean corrientes son piezas clave en el riego programado, porque dejan pasar el agua sólo cuando les llega un pulso eléctrico. Con ese simple truco, achican el esfuerzo de repartir el líquido en las hileras de cultivo y lo hacen sin andar mover mangueras a mano. Los aparatos se encuentran hoy en día tanto en el aspersor que riega la finca del abuelo como en la gota a gota que abona las macetas de una terraza [26]

Cada vez que un cable les manda corriente, el bobinado del solenoide clava un imán microscópico dentro de la válvula y el disco de cierre se aparta del asiento. La maniobra tarda menos que un parpadeo, así que el agricultor puede delegar el control a un reloj o a una app en el teléfono y seguir con otros quehaceres. Esa leve autonomía ahorra litros, porque el agua deja de correr en cuanto el sensor dicta que ya es suficiente [27]

1.11.1. Funcionamiento y Componentes de las Electroválvulas

Una electroválvula típica está hecha de piezas que se complementan sin sorpresas [28]

Solenoide. Bobinado de alambre escaso sobre un núcleo de metal; al energizarlo, recibe un pequeño imán y obliga al resto de los mecanismos a moverse.

Cuerpo de la válvula. Su geometría contiene el segmento por donde circula el fluido y se fabrica con aleaciones que aguantan las exigencias de presión de red, a menudo superiores a 1,0 MPa.

Muelles y juntas. Esta dupla se encarga de cerrar la boca del paso hidráulico cuando el mecanismo de activación se desenergiza, eliminando prácticamente cualquier fuga.

Mecanismo de apertura y cierre. Puede articularse a través de un diafragma elastomérico o mediante una esfera metálica, opción que deja huella en el caudal máximo que la unidad admite.

El solenoide, enrolado en un núcleo de hierro y alimentado por baja tensión, recibe una señal impulsada por un controlador meteorológico o un temporizador agrícola. En minutos abre o cierra el paso, minimizando la mano de obra y ajustando el riego a las curvas reales de demanda plantacional [28]

1.11.2. Riego por Aspersión

En un circuito de aspersión típico, cada electroválvula sirve de puerta a un sector diferente del campo. Una vez cerrada, el agua deja de moverse y, cuando se abre, los difusores eyectan el líquido en lluvia fina sobre cereales o praderas. La intervención programada de estos componentes evita que el agricultor deba caminar por cada fila, garantiza que el recurso llegue en franja horaria fijada y mantiene la distribución más uniforme [29]

2. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

2.1. METODOLOGIA

2.1.1. Análisis del Problema y Justificación

Belisario Quevedo, una parroquia rural situada en el cantón Latacunga, se enfrenta a retos considerables en la administración del riego agrícola, los agricultores se apoyaban en sistemas de riego tradicionales que a menudo resultan ineficientes, desperdiciando agua y energía por la ausencia de supervisión y automatización.

Identificar las necesidades básicas relacionadas, la cantidad de agua requerida y el tiempo de riego en la zona de implementación. Esta matriz resume los parámetros operativos y sirve como referencia inicial para la optimización del recurso hídrico mediante automatización, los cuales se representan en la tabla 5.

Tabla 5. Matriz requisitos del sistema de riego en Belisario Quevedo

Niveles del Terreno	Aspersores	Área (m ²)	Frecuencia	Duración (Hora)	Flujo de Agua (L/min)
Terraza 1	2	300	diario	4	45,00
Terraza 2	1	200	diario	4	22,50

El problema se agrava debido a la dependencia de los métodos de riego tradicionales, que suelen ser manuales y poco eficientes. La variabilidad climática, el crecimiento de la demanda agrícola y la necesidad de optimizar los recursos hídricos hacen urgente la implementación de soluciones innovadoras. En este contexto, la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) y la conectividad mediante LoRaWAN.

Algunos de los problemas identificados incluyen:

- Ineficiencia en el uso del agua.
- Dificultad en la supervisión y control.

- Altos costos operativos.
- Cambio climático e incertidumbre hídrica.

Un sistema de riego automatizado con sensores de presión y condiciones climáticas asegurará que el agua se aplique en la cantidad y momento adecuado, evitar el desperdicio y asegurar la sostenibilidad del recurso mejoramiento mediante el sistema de riego rotativo inteligente con LoRaWAN e IoT.

Para garantizar la funcionalidad del sistema de riego automatizado, se evalúan distintos componentes clave como: la placa de control, sensores y electroválvula. Mediante criterios técnicos como compatibilidad con el sistema, capacidad operativa y disponibilidad.

2.1.1.1. Selección del Microcontrolador (Placas de Control)

La selección de la placa de desarrollo adecuada fue un factor crítico en el diseño y desarrollo de proyectos electrónicos, ya que determinó la compatibilidad, el rendimiento y la escalabilidad. Las placas comparadas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación de materiales placa de control

Modelo	Conectividad	Entradas/Salidas	Frecuencia	Consumo Aproximado	Ventajas
Heltec WiFi LoRa 32 V3	WiFi + LoRa	20 GPIO digital/analógico	240 MHz	10–20 mA en reposo	Ideal para zonas rurales. Buen soporte y bajo consumo.
LilyGo T3S3 LoRa	WiFi + LoRa	27 GPIO digital/analógico	240 MHz	15–25 mA en reposo	Más pines para sensores/actuadores. Compatible con Arduino IDE.
Arduino MKR WAN 1310	LoRa	20 GPIO digital/analógico	48 MHz	104 μ A reposo, 20–30 mA en transmisión	Eficiente, pero menos potencia y menor capacidad de expansión.

Heltec WiFi LoRa 32 V3 es la mejor opción por su integración simultánea de WiFi y LoRa, bajo consumo energético (10–20 mA), buena capacidad de procesamiento y amplia documentación para entornos rurales.

2.1.1.2. Selección de Electroválvulas

La selección de electroválvulas fue un aspecto importante e indispensable en el desarrollo del proyecto, ya que influyó directamente en la eficiencia, el control y la fiabilidad del sistema implementado. Las electroválvulas comparadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Comparación de material Electroválvulas

Modelo	Diámetro	Voltaje	Tipo de apertura	Material	Ventajas
2W-200-20 3/4" 110V	3/4"	110V	Normalmente cerrada	Latón	Fiable, buena presión, fácil instalación.
JF-20B 12V DC	1/2"	12V	Normalmente cerrada	Plástico ABS	Bajo consumo, para riegos pequeños o por gravedad.
US Solid Brass 24V AC	3/4"	24V AC	Normalmente cerrada	Latón	Alta durabilidad, compatible con controladores estándar.

La Electroválvula 2W-200-20 110V es la opción adecuada por su equilibrio entre presión y facilidad de integración eléctrica, fabricada en latón resistente, lo que permite operar en exteriores expuestos a humedad, temperatura variable y polvo sin comprometer su durabilidad.

2.1.1.3. Selección del Sensor de Flujo

La selección de sensores de flujo fue crucial para la precisión y confiabilidad del proyecto. Los sensores comparados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación de material sensor flujo

Modelo	Diámetro	Rango aproximado	Salida	Material	Ventajas
YF-B5 3/4" G3/4	3/4"	1–25 L/min	Pulso digital	Latón niquelado	Alta resistencia a la humedad y presión. Apto para exteriores.
FS300A	1/2"	0,3–6 L/min	Pulso digital	Plástico	Muy sensible, para pequeños volúmenes.
G1" YF-DN25	1"	10–60 L/min	Pulso digital	Nylon	Alta capacidad de caudal, para cultivos más extensos.

El sensor de Flujo YF-B5 3/4" G3/4 es una opción destacada por su rango de caudal intermedio, salida por pulso compatible con microcontroladores, y construcción en latón niquelado, lo que garantiza durabilidad frente a humedad, presión constante y condiciones variables en aplicaciones exteriores.

Dicho sensor utiliza el **efecto Hall** que detecta los cambios en el campo magnético causados por el rotor girar, producir pulsos eléctricos (señal digital de tipo NPN), Cada pulso corresponde a una rotación o fracción de rotación del rotor, y la frecuencia de los pulsos ((F), en Hz) es proporcional al caudal del líquido.

$$F = 7.5 * Q \quad \text{Despejado el caudal:} \quad Q = \frac{F}{7,5}$$

Donde:

F: Frecuencia de los pulsos en hercios (Hz).

Q: Caudal en litros por minuto (L/min).

7.5: Pulsos por segundo por litro por minuto (Hz/(L/min)).

2.1.1.4. Selección del Sensor de Presión

La selección de sensores de presión resultó un aspecto fundamental e indispensable en el desarrollo del proyecto, ya que determinó la precisión, la sensibilidad y la confiabilidad de las mediciones obtenidas en el sistema. Los sensores de presión comparados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Comparación de material sensor de presión

Modelo	Rosca	Rango Presión (psi)	Salida	Material	Ventajas
G 1/4 – 1.6 MPa	1/4"	Hasta 232 psi	Voltaje analógico	Acero inoxidable	Buena resistencia a humedad, presión alta y uso prolongado.
G 1/4 – 2.0 MPa	1/4"	Hasta 290 psi	Voltaje analógico	Latón	Mayor capacidad de presión, útil en sistemas robustos.
G1/8 – 1.0 MPa	1/8"	Hasta 145 psi	Voltaje analógico	Acero	Compacto, ideal para aplicaciones con menor exigencia de presión.

El sensor de Presión G 1/4 – 1.6 MPa por su rango es adecuado para sistemas de riego, salida compatible con microcontroladores y cuerpo metálico de alta resistencia frente a humedad y presión, ideal para entornos agrícolas.

El sensor de presión G1/4" – 1.6 MPa utiliza el principio piezorresistivo para medir la presión de líquidos o gases no corrosivos (como agua, aceite o aire).

$$P_{psi} = \left(\frac{\text{valorADC}}{4095} - 0.5 \right) * 58.0152$$

Donde:

ValorADC: Valor crudo del ADC (0-4095).

4095: Resolución del ADC.

0.5: Voltaje mínimo (V_{min}) a 0 MPa.

58.0152: Constante de conversión (Kpsi/V).

2.2. Diseño del Sistema de Riego Inteligente

Como parte del diseño del sistema de riego automatizado, se presentó el diagrama de bloques mostrado en la Figura 2, el cual representó la interconexión de sus principales componentes. Esta visualización permitió comprender la estructura funcional del sistema y destacar la relación entre sensores, microcontrolador, dispositivos de control y elementos de salida.

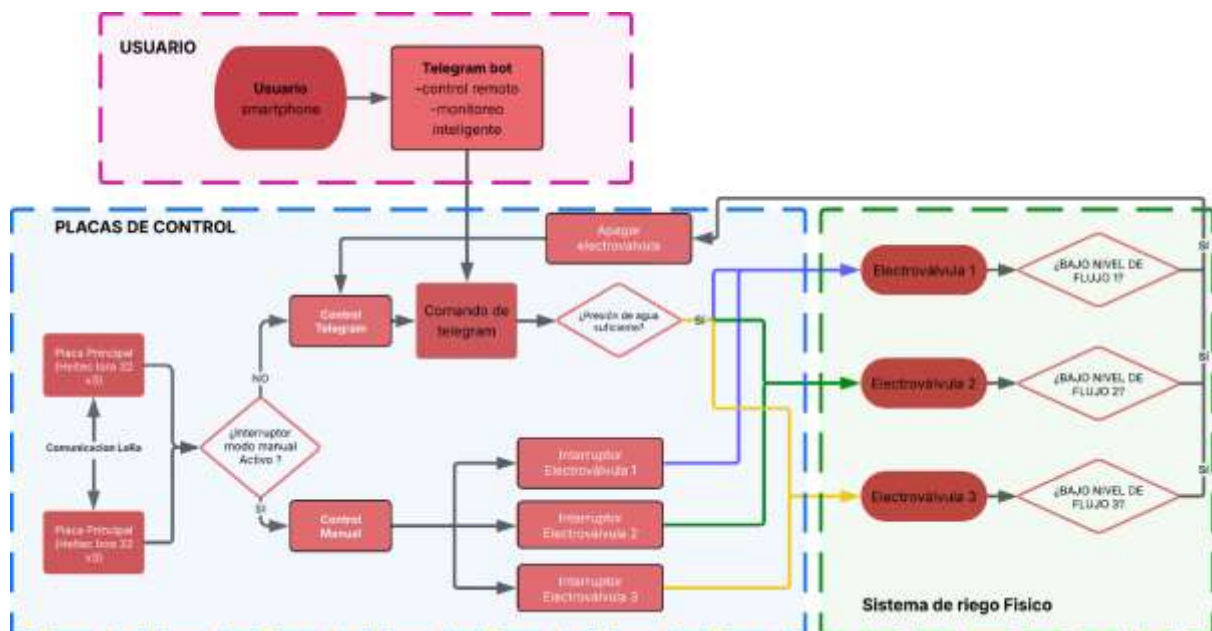


Figura 2. Diagrama de bloques Funcionamiento del Sistema de riego

Los principales componentes que se representaron en el diagrama de bloques fueron seleccionados en función de sus características y especificaciones técnicas. Estos elementos se detallaron en la Tabla 10, donde se presentan sus funciones y parámetros relevantes para el diseño del sistema de riego automatizado.

Tabla 10. Componentes vinculados al diagrama de bloques

MATERIALES	DESCRIPCIÓN
Electroválvulas 2W-200-20 de ¾ pulgada 110V de 0,12A	Convierte una señal eléctrica en un cambio mecánico para abrir o cerrar una válvula es esencial en sistemas donde se requiere automatización y precisión,
Sensor de flujo de agua ¾ pulgada de 1.75mpa	El sensor mide la cantidad de fluido que pasa a través de un tubo o conducto durante un tiempo específico.
Módulos LoRa 32 de 829 ~928	Es un dispositivo de comunicación inalámbrica basado en la tecnología que permite la transmisión de datos a largas distancias con un bajo consumo de energía. LoRa es una tecnología de modulación de radiofrecuencia.
Sensor de presión de agua G 1/4 - 1,6mpa Arduino	Este elemento medirá la presión del agua en un sistema de tuberías o conductos. Este sensor convierte la presión del agua en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema de control o monitoreo.

Nota. El diseño del sistema comprende diversas fases y componentes tecnológicos que aseguran su funcionamiento eficiente y su adaptabilidad a las condiciones del entorno agrícola.

2.2.1. Diagrama P&ID del sistema de riego automatizado

Como parte del diseño técnico del sistema de riego automatizado, se presentó el diseño gráfico de la distribución de los componentes utilizados. Para complementar el diseño del sistema, se incluyó un diagrama P&ID que ilustró de manera esquemática las conexiones principales entre los elementos hidráulicos, de instrumentación y control. Este recurso facilitó la interpretación de los procesos del sistema y sirvió como referencia para su implementación, como se muestra en la Figura 3.

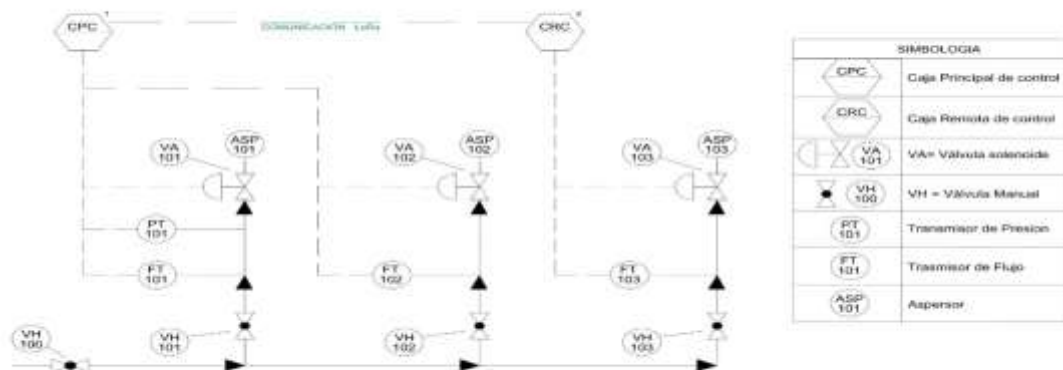


Figura 3. Diagrama P&ID del sistema de riego en Belisario Quevedo

En complemento al diagrama P&ID mostrado anteriormente, se detalló la información técnica correspondiente a los elementos empleados en el sistema mediante la Tabla 11. Este apartado formó parte integral del diseño, permitiendo una comprensión estructurada de los componentes utilizados en el proceso de automatización.

Tabla 11. Dispositivos y sensores implementados

Código	cantidad	Descripción	Detalles
CPC	1	Caja Principal de Control	Alberga la placa Heltec LoRa 32 v3, para procesamiento y comunicación.
CRC	1	Caja Remota de Control	Contiene la placa Heltec LoRa 32 v3, para control y transmisión de datos.
FT	3	Transmisor de Flujo	Sensor de agua de 3/4" con capacidad de medición hasta 1.75 Mpa.
PT	1	Transmisor de Presión	Sensor tipo G1/4", rango hasta 1.6 MPa, compatible con plataformas Arduino.
VA	3	Válvula Solenoide	Modelo 2W-200-20 de 3/4", operación a 110V.
ASP101-102	2	Aspersor 1 y 2	Modelo VYR-66, riego circular de alta eficiencia.
ASP-103	1	Aspersor 3	Modelo Xcel-Wobbler™ de Senninger, ideal para riego de amplio espectro.
HV	3	Válvula Manual	Tipo bola, utilizada para corte y control de flujo manual.

2.2.2. Distribución de componentes hídricos para el sistema de riego

Para representar la disposición física de los componentes hidráulicos del sistema, se elaboró un plano técnico que mostró la ubicación de tuberías, aspersores y puntos estratégicos de conexión. Esta representación, incluida en la Figura 11, facilitó la definición del trazado sobre el terreno y respaldó la planificación operativa durante el proceso de implementación.

Para complementar el diseño físico del sistema hídrico, se incorporó una compilación de componentes utilizados durante su implementación. La información presentada en la Tabla 12, permite tener una visión estructurada de los elementos esenciales que participaron en la conducción, regulación y monitoreo del flujo dentro del sistema de riego.

Tabla 12. Componentes del sistema Hídrico

COMPONENETES	CANTIDAD
Manguera de $\frac{3}{4}$	15metros
Uniones tipo codo $\frac{3}{4}$	8 unidades
Unión tipo T $\frac{3}{4}$	3 unidades
Aspersores de riego	3 unidades
Sensores de flujo	3 unidades
Sensor de presión	1 unidad
Electroválvulas	3 unidades
Válvulas	3 unidades

2.2.3. Diseño Electrónico de las placas en EasyEDA

2.2.3.1. Diseño de CPC (Caja Principal de Control)

Se incluyó el diseño electrónico correspondiente a la CPC (Caja Principal de Control), considerada un componente clave dentro del sistema de riego automatizado. Este apartado presentó el esquema funcional del circuito, en el cual se integraron elementos como el microcontrolador, relés, conectores tipo molex, resistencias y otras piezas esenciales que permitieron el control y la automatización del flujo hídrico. Además, se detallaron las dos

placas PCB diseñadas mediante la plataforma EasyEDA, optimizadas para su fabricación y montaje. La disposición estratégica de los componentes buscó garantizar la eficiencia del sistema y minimizar posibles fallos eléctricos durante su operación. Para ilustrar estos aspectos, se presentó la Figura 12, ubicada en el anexo A, correspondiente al diseño general de la CPC.

2.2.3.2. Diseño de la primera placa (CPC-001)

El siguiente diseño corresponde a la primera placa de la Caja Principal de control, desarrollada con base en criterios de funcionalidad, distribución eficiente y compatibilidad entre componentes. Esta placa incorpora los relés destinados al control de las electroválvulas y conectores tipo molex para la integración de sensores externos, permitir una organización estructurada de las entradas y salidas del sistema, como se indica en la Figura 13, ubicada en el anexo A.

2.2.3.3. Diseño de la Segunda placa (CPC-002)

Esta segunda placa electrónica alberga el microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V3, que actúa como unidad principal de procesamiento y comunicación del sistema. También integra borneras para la conexión de interruptores físicos que permiten la activación manual de las electroválvulas, ofrecer una opción de control directo en caso de fallo de comunicación o mantenimiento. La disposición de los componentes fue definida bajo criterios de accesibilidad, seguridad y eficiencia operativa, como se indica en la Figura 14, ubicada en el anexo A

2.2.3.4. Diseño de CRC (Caja Remota de Control)

Se desarrolló el diseño electrónico correspondiente a la CRC (Caja Remota de Control), la cual cumplió funciones complementarias dentro del sistema de riego automatizado. En este apartado se presentó el esquema funcional que estructuró la interconexión de los componentes encargados de la recepción y ejecución de señales remotas. Entre los elementos integrados destacaron el microcontrolador Heltec LoRa, módulos de comunicación, conectores molex y

dispositivos de control asociados. Asimismo, se incluyeron las dos placas PCB elaboradas en la plataforma EasyEDA, organizadas para facilitar su instalación y operación en campo. La Figura 15, ubicada en el anexo A, recoge el diseño general de esta unidad electrónica.

2.2.3.5. Diseño de la tercera placa (CRC-001)

El diseño de esta placa complementa la estructura del sistema. Se incorporan conectores tipo bornera de 2 pines distribuidos estratégicamente para los interruptores, asegurar compatibilidad eléctrica y facilidad de instalación en entornos operativos diversos, como se muestran en la Figura 16, ubicada en el anexo A.

2.2.3.6. Diseño de la cuarta placa (CRC-002)

Se integró el microcontrolador Heltec WiFi LoRa 32 V3, encargado de la recepción de datos y ejecución de comandos remotos dentro del sistema hídrico. Asimismo, se contempló la conexión directa a un sensor de flujo, facilitando el monitoreo específico del caudal en su punto asignado. La disposición de los componentes respondió a criterios de funcionalidad, accesibilidad y seguridad operativa, como se muestra en la Figura 17, ubicada en el Anexo A.

La Tabla 13 recopila de manera detallada los componentes electrónicos ensamblados en las placas del sistema de riego automatizado, abarcando tanto la unidad principal como la caja remota de control. Se incluyen dispositivos activos y pasivos que intervienen en la recopilación de datos, la comunicación y el accionamiento de la electroválvula.

Tabla 13. Componentes soldados a las placas del sistema de riego automatizado

COMPONENETES	CANTIDAD
Heltec lora 32 v3	2 unidades
Modulo rele 4	1 unidad
Modulo rele 1	1 unidad
Funte 110v AC a 5v DC	2 unidades
Interruptor 7 ^a	2 unidades
LED Rojo	2 unidades
Diodo 1n4007	2 unidades
Resistencia 100k	2 unidades
Resistencia 1k	2 unidades
Porta fusible y fusible 1A	1 unidad
Molex 5 pines	1 unidad

Molex 4 pines	1 unidad
Molex 3 pines	4 unidades
Molex 2 pines	2 unidades
Pulsadores 4 pines 6x6x5mm	2 unidades
Borneras de 2 pines	5 unidades

2.2.4. Implementación y Pruebas de Campo

La implementación del Sistema de Riego Rotativo Inteligente mediante LoRaWAN e IoT en la parroquia rural Belisario Quevedo, Latacunga, constituye una fase fundamental para evaluar su funcionalidad, eficiencia y adaptabilidad a las condiciones del entorno. Esta etapa abarca la instalación subterránea del cableado de alimentación de 110V se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la NEC 2011 – Capítulo 13: Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión. Se emplearon cables calibre 14 AWG con aislamiento para exteriores, canalizados mediante tuberías tipo conduit para garantizar protección frente a humedad, abrasión y condiciones del terreno. Las conexiones fueron verificadas con multímetro, aplicar pruebas de continuidad y voltaje para asegurar la estabilidad del suministro eléctrico hacia el módulo de control.

2.2.4.1. Ensamblaje de la caja de control

Como parte del proceso de implementación del sistema de riego automatizado, se documentó la interconexión física entre la caja de control y los dispositivos periféricos mediante el diagrama técnico presentado en la Figura 18, ubicado en el Anexo A. Este esquema permitió visualizar las conexiones realizadas entre los sensores de flujo, la electroválvula y los módulos de control, facilitando la comprensión de la arquitectura electrónica aplicada.

La caja de control fue ensamblada considerando la distribución ordenada y segura de los componentes electrónicos que forman parte del sistema de riego. Se utilizó una caja de protección IP55, adecuada para ambientes exteriores, junto con herramientas manuales para el montaje. El proceso contempló la verificación individual de cada módulo mediante una lista

de comprobación técnica, asegurar que todos los elementos estuvieran correctamente instalados y operativos que se muestra en la tabla 14. La siguiente imagen muestra el estado final del ensamblaje, evidenciar la organización interna y las medidas aplicadas para garantizar la protección y funcionalidad del sistema como se muestran en la Figura 26, ubicada en el Anexo B.

Tabla 14. Componentes integrados a las Cajas 1,2

COMPONENTES	CANTIDAD
CAJA IP55 22x17x14cm	1 unidad
CAJA IP55 10x10x8cm	1 unidad
PLACA 1,2,3,4.	4 unidades
Interruptor S/Placa Beige 125V/15Amp	3 unidades
Led Piloto rojo 5v	1 unidad
Interruptor ojo de cangrejo On/Off	1 unidad

2.2.4.2. Instalación Hídrica del Sistema

La implementación del sistema hídrico se llevó a cabo garantizar la correcta unión de los componentes sensibles como codos, electroválvulas, sensores de flujo y presión, mangueras y aspersores. Se utilizaron tuberías y conectores apropiados, junto con selladores resistentes a presión, aplicar protocolos estándar de prueba hidráulica para confirmar la ausencia de fugas. Las inspecciones visuales y ajustes preventivos permitieron validar el funcionamiento del sistema y asegurar una distribución eficiente del agua en cada sector previsto como se muestra en la Figura 26, ubicada en el Anexo B.

2.2.4.3. Distribución estratégica de los aspersores

La colocación estratégica de los aspersores se realizó considerando la segmentación del sistema en dos módulos de control: en la primera planta se instalaron dos aspersores, mientras que en la segunda se ubicó uno adicional. Cada unidad fue posicionada según su alcance operativo aproximado de 5 metros, asegurar una cobertura eficaz en las zonas asignadas y evitar superposición de riego. Esta distribución permite una aplicación eficiente del recurso hídrico, optimizar la uniformidad de cobertura sobre el área cultivada, como se muestran en la Figura 19. Plano, ubicada en el Anexo A.

Calcular el área cubierta por un aspersor

$$\text{Area} = \pi \times \text{radio}^2$$

Terraza 1:

$$\text{Area aspersor} = 3.14 \times 6.5^2 = 3.14 \times 42.25 = 132.66 \text{ m}^2$$

$$\text{Area T1} = 132.665 \text{ m}^2 * 2 = 265,32 \text{ m}^2$$

Los 2 aspersores cubren 265,32 m², la Terraza 1 es 300 m², dejar 34,68 m² sin cobertura directa, pero es abundante y se extiende por el suelo.

Terraza 2:

$$\text{Area aspersor} = 3.14 \times 7^2 = 3.14 \times 49 = 153.86 \text{ m}^2$$

El aspersor cubre 153.86m², la Terraza 1 es 200 m², dejar 46,14 m² sin cobertura directa, pero es abundante y se extiende por el suelo.

De tal manera se presentan los presentan los pasos de la automatización:

2.3. Evaluación y Optimización del Sistema

2.3.1. Introducción y Definición del autor

La implementación de sistemas de riego inteligente mediante tecnologías como LoRaWAN e IoT ha revolucionado la gestión agrícola, permitir un uso más eficiente de los recursos hídricos y una mejora en la productividad de los cultivos. Estos sistemas permiten la monitorización en tiempo real de variables críticas, facilitar decisiones informadas y oportunas. Según Mokosmart (2020), la agricultura inteligente implica el aprovechamiento de tecnologías modernas, como sensores y dispositivos IoT, que permiten recopilar datos cruciales para la toma de decisiones informadas en la gestión de los cultivos, especialmente en la optimización del uso del agua. Esta tecnología permite a los agricultores mejorar la eficiencia de sus operaciones y maximizar los recursos disponibles, contribuir al desarrollo de un modelo agrícola más sostenible.

2.3.2. Relación con el tema, Evaluación y Optimización

La adopción de sistemas de riego inteligente en la Parroquia Rural Belisario Quevedo, en Latacunga, se alinea con la tendencia global hacia la agricultura sostenible y eficiente. La implementación de tecnologías como LoRaWAN e IoT permitirá a los agricultores locales monitorizar en tiempo real variables como la humedad del suelo, temperatura y condiciones climáticas, optimizar así el uso del agua y mejorar la productividad de los cultivos. La evaluación de este sistema implica medir su desempeño en condiciones reales de operación, destacar la precisión de los sensores, la fiabilidad de la transmisión de datos y la efectividad de los algoritmos de control en la gestión del riego [15].

Además, se debe evaluar su impacto en la reducción del consumo de agua y en el aumento de la productividad agrícola, aspectos que han demostrado ser positivos en estudios previos, donde estos sistemas han mantenido la humedad del suelo en niveles óptimos, reducir el desperdicio de agua y mejorar la eficiencia de los recursos.

2.4. Análisis Económico y Viabilidad del Proyecto

2.4.1. Evaluación Técnica

Una vez implementado el sistema de riego mediante LoRaWAN e IoT en la Parroquia Rural Belisario Quevedo, se llevará a cabo una evaluación técnica para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. El ingeniero encargado del proyecto realizará pruebas exhaustivas para verificar la precisión de los sensores de humedad, la fiabilidad de la transmisión de datos a través de LoRaWAN y la eficiencia del algoritmo de riego automatizado. Durante esta fase, se evaluará el desempeño general del sistema bajo condiciones reales de operación, y cualquier ajuste necesario se implementará para optimizar el rendimiento.

2.4.2. Evaluación Social

El impacto social del proyecto se refleja en la mejora directa de las condiciones de vida de los agricultores en la Parroquia Rural Belisario Quevedo. La implementación de este sistema permitirá a los usuarios optimizar el uso del agua, reducir el consumo y mejorar la productividad de los cultivos, que constituyen una fuente esencial de ingresos para la comunidad. Este proyecto no solo responde a una necesidad económica, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los habitantes, mejorar su calidad de vida al garantizar cultivos más saludables y eficientes.

2.4.3. Evaluación Ambiental

En términos ambientales, este proyecto se presenta como una solución al desperdicio de agua causado por el uso ineficiente de sistemas de riego tradicionales. Gracias a la capacidad de monitoreo en tiempo real, los agricultores podrán controlar el flujo de agua de manera más precisa, minimizar las fugas y evitar el derrame innecesario. Además, al optimizar la distribución del agua en cada parcela, se logrará un uso más equitativo de los recursos hídricos, contribuir a la conservación del agua y evitar los efectos negativos de la sequía durante los meses de verano.

Este enfoque de evaluación en los ámbitos técnico, social y ambiental ayudará a garantizar que el proyecto no solo sea eficiente, sino también sostenible a largo plazo.

2.4.4. Documentación y Presentación de Resultados

2.4.5. Descripción del proyecto

2.4.5.1. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación se centra en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego rotativo mediante LoRaWAN e IoT, dirigido a la Parroquia Rural Belisario Quevedo, en Latacunga, Ecuador. Este proyecto busca optimizar el uso del agua en la agricultura local, mejorar la eficiencia del riego mediante el monitoreo remoto de variables clave como la humedad del suelo, la temperatura y las condiciones climáticas. El sistema permitirá a los agricultores gestionar sus cultivos de manera más efectiva, reducir el desperdicio de agua, mejorar la productividad y garantizar una distribución equitativa del recurso hídrico.

La investigación se enfocará en la evaluación del desempeño técnico del sistema, así como en su impacto social y ambiental. En términos técnicos, se validará la precisión de los sensores, la fiabilidad del sistema de transmisión de datos y la efectividad de los algoritmos de control. Socialmente, se medirá el impacto en la calidad de vida de los agricultores, evaluarlos beneficios económicos derivados de la optimización del riego y el aumento de la productividad. Finalmente, en el ámbito ambiental, se estudiará el ahorro de agua y la mejora en la sostenibilidad de los cultivos, con especial énfasis en la conservación de los recursos hídricos.

2.4.5.2. Contexto de la Investigación

La Parroquia Rural Belisario Quevedo, ubicada en la provincia de Cotopaxi, es una comunidad agrícola cuya principal fuente de ingresos proviene de la agricultura. En esta región, la gestión del agua ha sido históricamente un desafío, especialmente durante la temporada de

sequías, cuando los sistemas tradicionales de riego no son suficientes para satisfacer las necesidades de los cultivos. Las fugas y el uso ineficiente del agua son problemas comunes que afectan tanto la productividad agrícola como la sostenibilidad de los recursos hídricos.

En este contexto, la tecnología de riego mediante LoRaWAN e IoT emerge como una solución innovadora para enfrentar estos problemas. LoRaWAN es una tecnología de comunicación de largo alcance y bajo consumo de energía, ideal para áreas rurales donde la conectividad de red es limitada. Por otro lado, la Internet de las Cosas (IoT) permite la integración de sensores que recopilan datos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre el uso del agua.

Este proyecto se enmarca dentro de un esfuerzo más amplio para modernizar la agricultura en Ecuador y promover la sostenibilidad ambiental. Al implementar un sistema de riego, se busca no solo aumentar la eficiencia del uso del agua, sino también mejorar la calidad de vida de los agricultores y contribuir a la conservación de los recursos naturales en la región. El éxito de este sistema podría servir como modelo para la implementación de tecnologías similares en otras comunidades rurales del país, impulsar un cambio hacia prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes.

2.4.5.3. Métodos de cálculo

La presente sección describe los métodos utilizados para evaluar el consumo de agua en un sistema de riego aplicado a dos terrazas agrícolas, comparar un enfoque tradicional con un sistema automatizado que incorpora sensores de flujo y electroválvulas para optimizar la eficiencia hídrica. El propósito de los cálculos es determinar la cantidad de agua utilizada por día y por mes, así como el ahorro logrado al implementar el sistema automatizado, que busca reducir el consumo mediante una distribución más controlada y eficiente. Además, se analiza la cobertura de los aspersores en cada terraza, considerar que la dispersión de la humedad en

el suelo compensa las áreas no regadas directamente, asegurar que todo el terreno reciba la hidratación necesaria para los futuros cultivos.

Este análisis cuantitativo se basa en datos específicos del sistema de riego, como el caudal de los aspersores, el tiempo de operación y las características de las terrazas. Los resultados permiten comprender el impacto de la automatización en la gestión del agua, ofrecer una base sólida para evaluar la sostenibilidad y viabilidad de implementar tecnologías modernas en la agricultura.

Datos:

Área del Terreno:

- Terraza 1: 300 m², con 2 aspersores.
- Terraza 2: 200 m², con 1 aspersor.
- Área total: 300 m² + 200 m² = 500 m².

Caudal de los aspersores:

Cada aspersor tiene un flujo de 20-25 L/min. Para los cálculos, al usar el promedio: 22.5 L/min por aspersor.

Caudal total:

- Terraza 1: 2 aspersores × 22.5 L/min = 45 L/min.
- Terraza 2: 1 aspersor = 22.5 L/min.
- Total: 45 + 22.5 = 67.5 L/min (4050 L/h).

Tiempo de riego:

- Sistema tradicional: 8 horas/día (de 8 a.m. a 4 p.m., sin interrupción), 5 días/semana.
- Sistema automatizado: 4 horas/día (2 horas en la mañana + 2 horas en la tarde, para permitir absorción del suelo), 5 días/semana.

Frecuencia de riego:

- 5 días/semana.
- 21 días/mes.

Calcular el consumo de agua por día

Sistema tradicional (8 horas/día, 5 días/semana):

- Consumo diario:

$$4050 \frac{L}{h} * 8 \frac{h}{dia} = 32400 \frac{L}{dia}$$

- Consumo por m² por día:

$$\frac{32400 \frac{L}{dia}}{500m^2} = 64.8 \frac{L}{m^2}$$

Sistema automatizado (4 horas/día, 5 días/semana):

- Consumo diario:

$$4050 \frac{L}{h} * 4 \frac{h}{dia} = 16200 \frac{L}{dia}$$

- Consumo por m² por día:

$$\frac{16200 L/dia}{500m^2} = 32.4 \frac{L}{m^2}$$

Calcular consumo mensual del sistema de riego.

Sistema tradicional (21 días/mes).

- Consumo Mensual:

$$32400 \frac{L}{dia} * 21 dias = 680400 \frac{L}{mes}$$

- Consumo por m² por Mes:

$$\frac{680400 L/mes}{500m^2} = 1360.8 \frac{L}{m^2}$$

Sistema automatizado (21 días/mes).

- Consumo mensual:

$$16200 \frac{L}{dia} * 21 dias = 340200 \frac{L}{mes}$$

- Consumo por m² por mes:

$$\frac{340200 \text{ L/mes}}{500\text{m}^2} = 680.4 \frac{\text{L}}{\text{m}^2}$$

Calcular el ahorro de agua en porcentaje

Consumo mensual tradicional: 680400 L/mes.

Consumo mensual automatizado: 340200 L/mes.

Ahorro de agua:

$$680400 \frac{\text{L}}{\text{mes}} - 340200 \frac{\text{L}}{\text{mes}} = 340200 \frac{\text{L}}{\text{mes}}$$

Porcentaje de ahorro de agua:

$$\frac{340200 \text{ L/mes}}{680400 \text{ L/mes}} * 100 = 50\%$$

Cálculo del ahorro de tiempo

Una persona tardaba 4 horas al día regar manualmente, incluir encender válvulas, verificar que el riego sea uniforme, y mover los aspersores. Sin embargo, el sistema automatizado una persona tarda 0.5 horas al día (30 minutos) ya que puede encender las electroválvulas desde la casa y saldría a verificar que el riego sea uniforme, y confirmar que los aspersores giren.

- Sistema tradicional:

Tiempo diario: 4 horas/día.

Tiempo mensual: (21 días de riego): 4×21=84 horas/mes.

- Sistema automatizado:

Tiempo diario: 0.5 horas/día (30 minutos).

Tiempo mensual: $0.5 \times 21 = 10.5$ horas/mes.

Ahorro de tiempo:

$$84 - 10.5 = 73.5 \text{ horas/mes}$$

$$\frac{73.584}{84} \times 100 = 87.5\%.$$

2.5. Equipos, materiales y herramientas utilizados

Para la desarrollo e implementación del Sistema de Riego Rotativo a través de LoRaWAN e IoT, se realizó una meticulosa elección de equipos, materiales y herramientas, tener en cuenta aspectos fundamentales como eficacia, compatibilidad, resistencia y costo. Esta decisión fue crucial para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema y su habilidad para funcionar de forma óptima en un ambiente agrícola.

En la etapa de diseño, se examinaron diversos aparatos de comunicación, sensores y actuadores, dando prioridad a aquellos que proporcionaran una integración eficaz con la tecnología LoRaWAN y posibilitaran una administración remota mediante IoT. Igualmente, se consideraron las circunstancias ambientales de la Parroquia Rural Belisario Quevedo, Latacunga, para escoger elementos que puedan resistir la humedad, temperatura y otros elementos que pudieran influir en su desempeño.

2.5.1. Equipos Electrónicos

Placas de Desarrollo: Heltec LoRa ESP32 V3

Las Heltec LoRa ESP32 V3 son microcontroladores de alta tecnología que integran la tecnología LoRa (Long Range), que facilita una comunicación inalámbrica de larga distancia

y con un consumo energético reducido. Esta tecnología permite crear vínculos de datos en áreas con escasa infraestructura de conexión, lo que las hace una opción perfecta para aplicaciones en contextos rurales y agrícolas.

Estos microcontroladores se fundamentan en el poderoso procesador ESP32, el cual proporciona un rendimiento superior y varias funciones, entre ellas la conectividad WiFi y Bluetooth. Además, poseen una pantalla OLED incorporada, se emplearon dos tarjetas Heltec LoRa ESP32 V3 como se muestra en la figura 4, cada una con roles particulares en la arquitectura del sistema:

- Placa 1 (Nodo de Comunicación y Control Remoto):

Gestiona la comunicación con Telegram y permite la interacción con el usuario a su vez controla las dos primeras electroválvulas y lee los sensores de los dos primeros sensores de flujo y al sensor de presión.

- Placa 2 (remotamente controla la tercera Electroválvula)

Recibe las instrucciones de la Placa 1, activación de electroválvulas y envía los datos nuevamente del sensor 3 por medio de comunicación LoRa.



Figura 4. Módulos Heltec LoRa 32 v3

2.5.1.1. Electroválvulas 2W-200-20 de 3/4 a 110V

Las electroválvulas son dispositivos electromecánicos que permiten el control automático del flujo de agua a través de una señal eléctrica. Su funcionamiento se basa en un solenoide que, al recibir corriente eléctrica, activa o desactiva un mecanismo interno que facilita o bloquea el paso del agua. Este tipo de control es esencial en los sistemas de riego automatizados, ya que optimiza la gestión del suministro de agua de manera eficiente y desde cualquier lugar, se observa en la figura 5.

En la implementación del Sistema de Riego Rotativo, que utiliza tecnología LoRaWAN e IoT, se incorporaron tres electroválvulas de 3/4" y 110V.

Estas electroválvulas desempeñan un papel crucial en la regulación del suministro de agua a diferentes áreas del terreno.

2.5.1.2. Sensor de flujo YF-B5 G3/4

Se emplearon tres sensores de flujo YF-B5 G3/4 para medir con exactitud el flujo de agua en el Sistema de Riego Rotativo en cada uno de los aspersores.



Figura 5. Electroválvula

Estos sensores facilitan el seguimiento en tiempo real del flujo de agua a través de las tuberías, ofrecer información crucial para la regulación y mejora del riego, se observa en la figura 6.

El sensor YF-B5 G3/4 es un aparato electromecánico que funciona a través de una turbina interna que rota según el caudal de agua. Este giro produce una serie de pulsos digitales cuya frecuencia es proporcional al flujo de agua, lo que facilita el cálculo del volumen total de agua que ha atravesado el sistema.



Figura 6. Sensores de Flujo YF-B5 G3/4

2.5.1.3. Sensor de presión de agua G 1/4 -1.6mpa

Para asegurar un caudal constante de agua y evitar posibles perjuicios en las tuberías, electroválvulas y otros elementos del sistema de riego, se puso en marcha un sensor de presión podemos observar en la figura 7.

Este sensor es esencial para supervisar la presión del agua en tiempo real, lo que permite identificar fluctuaciones que puedan señalar bloqueos, escapes o errores en el sistema. Es un sensor de presión de gran precisión y tamaño compacto, creado específicamente para la medición de líquidos en sistemas hidráulicos.

2.5.1.4. Relés de Control



Figura 7. Sensor G 1/4 -1.6mpa

Para la gestión automatizada de las electroválvulas en el Sistema de Riego Rotativo, se instalaron tres relés, que facilitan la activación o desactivación de elementos eléctricos a través de señales de control de bajo voltaje. Un relé es un aparato electromecánico que opera como un interruptor regulado por medio de electrónica que podemos observarlo en la figura 8.

Cuando un microcontrolador, como el Heltec LoRa ESP32 V3, recibe una señal de activación, cierra o abre un circuito, facilitar el flujo de corriente hacia la carga conectada.



Figura 8. Relés de Control

2.5.1.5. Tubos y Acoples de Tubería de 3/4"

Para asegurar una repartición eficaz y homogénea del agua en el Sistema de Riego Rotativo, se emplearon tubos y acoples de tubería de 3/4". Este sistema de conducción facilita

el traslado eficiente del agua desde la fuente de abastecimiento hasta las distintas áreas de irrigación, garantizaron flujo constante y regulado.

- Diámetro de 3/4": Perfecto para el flujo gestionado en el sistema de riego, garantizar una correcta presión y prevenir pérdidas de agua innecesarias.
- Material duradero: Desarrollados en PVC de alta presión o polietileno, lo que asegura longevidad, capacidad de resistir la corrosión y la exposición al sol.
- Instalación sencilla: Los acoples posibilitan un enlace seguro y sellado entre las secciones de tubería, prevenir escapes y simplificar el mantenimiento.
- Compatibilidad con sensores y electroválvulas: Incorporación eficaz con los aparatos de control del sistema, garantizar un funcionamiento adecuado del riego automatizado.

Software y Programas Utilizados

2.5.1.6. IDE Arduino

Arduino es una plataforma de programas y hardware de fuente abierta, diseñada para la generación de proyectos de electrónica. Está formado por placas de desarrollo basadas en microcontroladores y un ambiente de programación (IDE Arduino), lo que facilita a usuarios de cualquier nivel la programación y el control de varios aparatos electrónicos de forma fácil e intuitiva.

El IDE Arduino posibilita redacción, compilación y carga del código en las placas Heltec LoRa ESP32 V3. simplificar la incorporación de las características requeridas para el funcionamiento del sistema.

2.5.1.7. TELEGRAM

Es una plataforma de mensajería instantánea en la nube que proporciona una plataforma adaptable, segura y veloz para la comunicación. Una de sus cualidades más destacadas es la habilidad de incorporar bots, que son programas automatizados creados para llevar a cabo tareas concretas sin la necesidad de una intervención directa del ser humano. Los bots de

TELEGRAM facilitan la interacción con usuarios, la realización de consultas, la ejecución de comandos y la automatización eficaz de procesos

Para simplificar la gestión y seguimiento del Sistema de Riego Rotativo, se estableció

TELEGRAM como medio de comunicación entre el usuario y el sistema. Esta integración permite administrar el riego de forma remota a través de órdenes y alertas

2.6. Evaluación técnico, social, ambiental y/o económica

2.6.1. Evaluación Técnico

Durante la fase de pruebas, se evaluó la precisión de los sensores y la estabilidad de la red LoRaWAN en el terreno, verificar la cobertura y la capacidad de transmisión de datos en diferentes condiciones climáticas y topográficas. Se identificó que la conectividad LoRaWAN es robusta en entornos rurales con mínima interferencia, aunque en zonas con obstáculos naturales o construcciones densas puede requerir la instalación estratégica para tener una mejor cobertura.

El sistema está compuesto por sensores de flujo, temperatura y electroválvulas automatizadas y una red de comunicación LoRaWAN, que permite la transmisión de datos a largas distancias con bajo consumo energético. La plataforma IoT integrada facilita el monitoreo y control remoto del riego, optimizar el uso del agua y mejorar la gestión agrícola.

En términos de mantenimiento, el sistema requiere una supervisión periódica para la calibración de sensores, la limpieza de los componentes y la verificación del estado de las electroválvulas. El modularidad del diseño permite realizar ajustes o ampliaciones según las necesidades del usuario, facilitar su escalabilidad en otras zonas agrícolas. En conclusión, el sistema cumple con los requisitos técnicos esperados, demostrar ser una solución viable, eficiente y adaptable para la optimización del riego en la parroquia Belisario Quevedo.

2.6.2. Social

El acceso a tecnología avanzada fomenta la modernización de las prácticas agrícolas y contribuye a la capacitación de los agricultores en el uso de herramientas digitales, promover una mayor inclusión tecnológica en zonas rurales. La implementación del sistema también fortalece la organización comunitaria al incentivar la cooperación entre los agricultores para el mantenimiento y optimización del sistema de riego.

Sin embargo, se pueden presentar desafíos relacionados con la aceptación y adopción de la tecnología, especialmente en sectores con menor acceso a educación digital. Por ello, es clave la realización de programas de capacitación y acompañamiento técnico para garantizar la correcta utilización del sistema. A largo plazo, este proyecto contribuye a la reducción de la migración rural, ya que, al mejorar la rentabilidad del trabajo agrícola, se generan mejores oportunidades económicas dentro de la comunidad. En general, la implementación del sistema impulsa el desarrollo social al mejorar la productividad, la educación tecnológica y la estabilidad económica de los agricultores de la parroquia Belisario Quevedo.

2.6.3. Ambiental

El impacto ambiental del sistema de riego es mayormente positivo, ya que contribuye a la sostenibilidad agrícola mediante el ahorro de agua, la conservación del suelo y la reducción del consumo energético. Se recomienda reforzar estrategias de energía renovable y reciclaje de componentes electrónicos para maximizar los beneficios ambientales del proyecto.

El uso de sensores IoT y comunicación LoRaWAN reduce la necesidad de desplazamientos para la supervisión del riego, disminuir el consumo de combustibles fósiles y la emisión de gases contaminantes. Además, al optimizar la cantidad de agua utilizada, se contribuye a la recarga equilibrada de los mantos acuíferos y a la prevención de la erosión del suelo.

2.6.4. Económico (Gastos directos.)

Tabla 15. Lista de materiales de comunicación

MATERIALES PARA LA COMUNICACIÓN				
N°	Tipo	Descripción	Cantidad	Precio
1	Módulos LoRa 32 - 128x64 OLED	Microcontrolador integrado Basado en el ESP32, que combina conectividad Wi-Fi, Bluetooth y LoRa en un solo dispositivo.	2.00 Unid.	\$ 70
2	Electroválvulas de ¾ pulgada 110V de 0.12A	Son dispositivos electromecánicos diseñados para controlar el flujo de líquidos en sistemas de riego	3.00Unid.	\$ 165
3	Sensor de flujo de agua ¾ pulgada de 1.75mpa	Es un dispositivo diseñado para medir la cantidad de agua que fluye a través de una tubería en sistemas de riego, abastecimiento de agua y automatización industrial.	3.00Unid.	\$ 50
4	Componente de electrónica (pulsador, resistencia, fuentes, antena, etc)	Los elementos se encuentran especificados en la tabla N.11	32.Unid	\$ 20
5	Interruptores de 125V – 15A	Sirve para el uso manual al momento de realizar el respectivo riego.	3.00Unid	\$ 3.30
6	Sensor de presión de agua	El sensor de flujo de agua de ¾ de pulgada y 1.75 MPa es un dispositivo diseñado para medir el caudal de agua en sistemas de riego	1.00Unid	\$ 30
			SUBTOT AL	\$ 338
			IVA	\$ 15%
			TOTAL	\$ 388.70

Tabla 16. Equipos de instalación dentro del terreno.

EQUIPO DE INSTALACION			
Nº	Tipo	Cantidad	Precio
1	Manguera de ¾	20.00 Metros	\$28
2	Aspersor de riego	3.00 Unid.	\$20
3	Uniones de tubería (codos, acoples, llave de paso)	15.00 Unid.	\$30
4	Manguera corrugada	15.00 Unid	\$6
5	Cable solido N.14	30.00 Metros	\$20
6	Cajas Impermeables	3.00 Unid.	\$40
Subtotal			\$144
descuento			\$ -
ICE			\$ -
IVA			\$15%
TOTAL			\$194.70

2.6.5. Presupuesto: Gastos indirectos (Mano de obra)

Tabla 17. Implementación del sistema de riego automatizado

Implementación del sistema de riego automatizado					
Descripción	Personal de trabajo	Hora	\$	\$	\$
			Hora	V. Unitario	V. Total
Levantamiento de información	2	4	\$ 0	\$0	\$0
Dimensionamiento de los equipos y electroválvulas	2	4	\$ 0	\$0	\$0
Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado	2	48	\$ 0	\$0	\$0
Instalación del tablero eléctrico y la bomba centrífuga	2	48	\$ 0	\$20	\$20
				Total, a Pagar	\$20

2.6.6. Presupuesto: Gastos indirectos (Mano de obra)

Tabla 18. Dispositivos de comunicación y desarrollo de aplicación

Dispositivos de comunicación y desarrollo de aplicación.					
Descripción	Personal de trabajo	Hora	\$	\$	\$
			Hor a	V. Unitario	V. Total
Levantamiento de información	2	4	\$0	\$0	\$0
Diagramas de conexión	2	1	\$0	\$0	\$0
Programación de sistema de Perifoneo	2	48	\$10	\$0	\$0
Instalación y enlace de dispositivos	2	36	\$10	\$10.0	\$20.0
Desarrollo de la vinculación móvil	2	9	\$0	\$	\$0
Pruebas de funcionamiento	2	24	\$10	\$20	\$20
			Total, a Pagar		\$40

3. ANÁLISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La presente sección analiza y discute los resultados obtenidos en los cálculos realizados para evaluar el desempeño de un sistema de riego automatizado en comparación con un sistema tradicional, aplicado a dos terrazas agrícolas.

El análisis se centra en dos variables principales: el consumo de agua, que logra un ahorro del 50% con el sistema automatizado, y el tiempo de supervisión requerido por una persona, que se reduce en un 87.5%, junto con la cobertura efectiva de los aspersores en ambas terrazas.

El objetivo fue interpretar el impacto de los ahorros obtenidos en la eficiencia hídrica y la productividad, destacando su relevancia en la gestión sostenible de los recursos agrícolas. Mediante la comparación entre ambos métodos, esta sección evaluó las ventajas del sistema automatizado frente al tradicional, identificó sus posibles limitaciones y planteó implicaciones para su aplicación en la agricultura moderna.

Los resultados ofrecieron una base cuantitativa que respaldó la adopción de tecnologías enfocadas en optimizar el uso del agua y reducir el esfuerzo humano en actividades de riego, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Resumen de ahorro Comparativo Mensual

Sistema	Riego Tradicional	Riego automatizado	Ahorro	ahorro (%)
Consumo de Agua (L)	680,40	340,20	340,20	50,00
Tiempo de Supervisión (h)	84,00	10,50	73,50	87,50

Durante el periodo de un mes se recolectaron datos diarios de consumo hídrico correspondientes tanto al sistema de riego tradicional como al sistema automatizado. Esta información permitió efectuar un análisis comparativo detallado, observándose diferencias significativas en la cantidad de agua utilizada por cada método. El sistema automatizado presentó una reducción sostenida en el volumen de litros por día, lo que evidenció una mayor eficiencia operativa y un aprovechamiento más racional del recurso hídrico.

Los datos recopilados proporcionaron una base empírica valiosa para sustentar decisiones técnicas y estratégicas en el diseño de sistemas de riego moderno, se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20. Tabla de datos recolectados durante un mes

Día	Consumo Sistema Tradicional (Litro/m²)	Consumo Sistema Automatizado (Litro/m²)	Ahorro (%)
1	66,09	33,54	49,25
2	66,09	32,55	50,76
3	65,10	32,55	50,00
4	64,12	31,57	50,77
5	62,15	31,57	49,21
6	62,15	30,58	50,79
7	61,16	30,58	50,00
8	60,18	30,09	50,00
9	59,19	29,10	50,83
10	59,19	30,09	49,17
11	61,16	30,58	50,00
12	62,15	31,07	50,00
13	63,14	31,57	50,00
14	64,12	32,06	50,00
15	64,12	32,55	49,23
16	66,09	33,04	50,00
17	67,08	33,54	50,00
18	67,87	34,03	49,85
19	69,06	34,53	50,00
20	67,08	33,54	50,00
21	65,10	32,94	49,42
	1360,80	680,40	TOTAL

Durante el periodo analizado, se observó que el sistema tradicional alcanzó su mayor consumo el día 19, con 69,06 litros/m², debido posiblemente a una jornada de alta demanda hídrica sin regulación manual eficiente. El menor consumo se registró el día 9,10 con 59,19 litros/m². Por su parte, el sistema automatizado mantuvo un consumo estable, alcanzando su pico también el día 19 con 34,53 litros/m², y su mínimo el día 9 con 29,10 litros/m², gracias a la adaptación automática frente a condiciones de humedad. Estos datos reflejaron una reducción promedio del 50% en el consumo, validando la eficiencia del sistema automatizado frente al tradicional como se muestra en la figura 9.

1. Pico más alto del riego tradicional, día 19.
2. Pico más bajo del riego tradicional, día 9 y 10.
3. Pico más alto del riego automatizado, día 19.
4. Pico más bajo del riego tradicional, día 9.

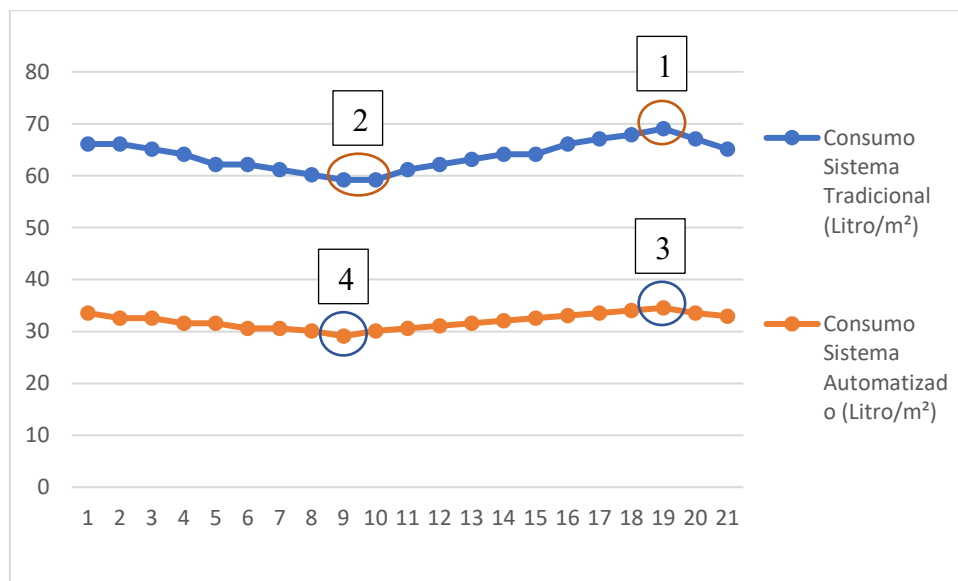


Figura 9. Datos recolectados durante un mes

Obtuvimos las horas diarias de trabajo registradas durante un mes para los sistemas de riego tradicional y automatizado. Esta recopilación permitió evaluar el esfuerzo operativo asociado a cada modalidad, considerando tanto la intervención humana como el tiempo

requerido para realizar tareas rutinarias de riego. A lo largo del periodo analizado, el sistema tradicional demandó una dedicación constante por parte del usuario, mientras que el sistema automatizado demostró una reducción sustancial en tiempo de trabajo gracias a la programación y ejecución autónoma de las funciones. Esta información se detalló en la Tabla 21, la cual permitió interpretar el impacto operativo del sistema implementado.

Tabla 21. Tabla comparativa de las horas diarias de trabajo registradas durante un mes

Día	Horas Sistema Tradicional (h)	Horas Sistema Automatizado (h)	Ahorro (%)
1	4,30	0,55	87,21
2	3,90	0,49	87,44
3	3,80	0,48	87,37
4	3,80	0,55	85,53
5	3,80	0,46	87,89
6	3,80	0,55	85,53
7	3,90	0,50	87,18
8	4,10	0,45	89,02
9	4,40	0,50	88,64
10	4,50	0,47	89,56
11	4,30	0,50	88,37
12	4,20	0,49	88,33
13	4,00	0,50	87,50
14	3,80	0,49	87,11
15	3,80	0,55	85,53
16	3,90	0,50	87,18
17	4,00	0,47	88,25
18	4,00	0,48	88,00
19	4,00	0,49	87,75
20	3,90	0,48	87,69
21	3,80	0,55	85,53
	84,00	10,50	Total

Durante el periodo de evaluación, se registraron diferencias sustanciales en el tiempo requerido para operar los sistemas de riego. El sistema tradicional acumuló un total de 84 horas, mientras que el sistema automatizado solo necesitó 10,50 horas, reflejando un ahorro promedio superior al 87 % como se muestra en la figura 9.

El día de mayor carga laboral para el sistema tradicional fue el día 10, con 4,50 horas, posiblemente debido a labores extendidas de monitoreo, ajustes manuales o condiciones que requerían mayor intervención. Por el contrario, el menor registro se observó en los días 3, 4, 5, 14, 15, y 21, todos con 3,80 horas, lo que pudo deberse a jornadas menos exigentes o repetitivas.

En el sistema automatizado, el mayor tiempo registrado fue 0,55 horas, repetido en seis días distintos (incluyendo los días 1, 4, 6, 15, y 21), correspondiente a la duración necesaria para supervisión básica o activación puntual del sistema. El menor tiempo fue 0,45 horas en el día 8, posiblemente asociado a una jornada con condiciones climáticas favorables que minimizaron intervenciones.

1. Pico más alto del riego tradicional, día 10.
2. Pico más bajo del riego tradicional, día 3, 4, 5 y 6.
3. Pico más alto del riego automatizado, días 1, 4, 6, 15, y 21.
4. Pico más bajo del riego tradicional, día 8.

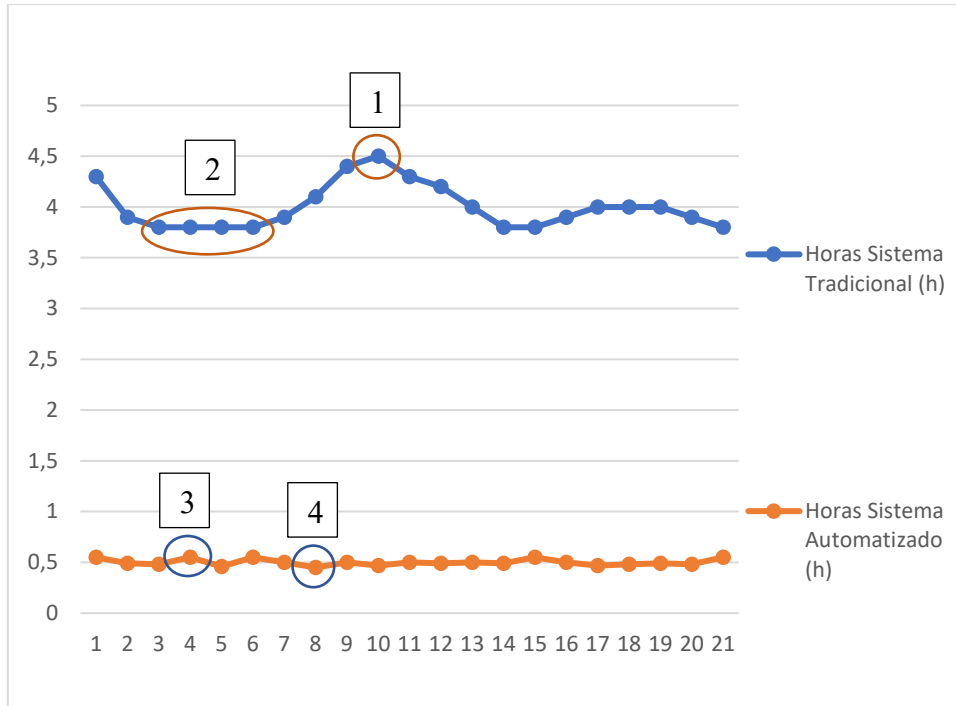


Figura 10. Datos recolectados durante un mes

- Impacto que influenciaron dentro del sistema de automatización.:

Impacto Social	Descripción del Impacto
Calidad de Vida	La mayor accesibilidad al agua potencia la producción agrícola, crear ingresos más elevados para las familias y disminuirla pobreza en comunidades rurales.
Reducción de Desigualdades	Promueve un acceso justo al riego, favorecer principalmente a los pequeños agricultores que anteriormente no tenían la capacidad de financiar sistemas modernos.
Implementa tecnologías de vanguardia	Implementa tecnologías de vanguardia (IoT y LoRaWAN) en áreas rurales, disminuir la disparidad digital entre la zona rural y la ciudad.

Resiliencia comunitaria	La comunidad incrementa su resistencia frente al cambio climático y las sequías debido a una administración eficaz del recurso de agua.
--------------------------------	---

Categoría de Impacto Económico	Descripción del Impacto
Uso eficiente de recursos hídricos	Reducir el desperdicio de agua implica reducir los gastos de extracción y traslado de este, particularmente en áreas de acceso complicado.
Aumento en la productividad agrícola	Al mejorar el riego, se aumenta la productividad de las cosechas por hectárea, producir ingresos superiores por la venta de productos agrícolas.
Ahorro de agua	El sistema inteligente maximiza la utilización del agua, prevenir residuos y disminuir los gastos vinculados a la recolección y reparto del recurso de agua 87.5%
Acceso a nuevos mercados	El incremento en la calidad del producto final posibilita que los agricultores vendan sus productos en mercados más rigurosos o a precios más competitivos.
Disminución de tiempos improductivos	Los agricultores tienen la posibilidad de dedicar más tiempo a tareas de valor añadido (transformación, venta), al no depender del riego manual cotidiano.

Categoría de Impacto Ambiental	Descripción del Impacto
---------------------------------------	--------------------------------

<p>Conservación de la biodiversidad</p>	<p>Una utilización sustentable del agua facilita la preservación de condiciones propicias para la flora y fauna local, prevenir cambios en los ecosistemas colindantes.</p>
<p>Uso racional de energía</p>	<p>El sistema automatizado tiene la capacidad de operar con energía optimizada o recursos renovables, reducir así el efecto ambiental vinculado al uso de electricidad.</p>
<p>Fomento de prácticas sostenibles</p>	<p>La puesta en marcha del sistema fomenta una agricultura más respetuosa con el medio ambiente, en concordancia con los principios de sostenibilidad y agroecología.</p>
<p>Eficiencia en el uso del recurso hídrico</p>	<p>La tecnología IoT posibilita el seguimiento en tiempo real de la humedad en el terreno, optimizar su distribución y disminuir la extracción de agua innecesaria.</p>
<p>Adaptación al cambio climático</p>	<p>El sistema contribuye a administrar de manera más eficiente la variabilidad del agua (sequías o precipitaciones irregulares), potenciar la resistencia ambiental de la región agrícola.</p>

3.1. Presupuesto y Costos Directos

A continuación, se mencionan los costos de los materiales y equipos electrónicos adquiridos para realizar el sistema automatizado de riego de la Facultad de CAREN de la Universidad Técnica de Cotopaxi, incluyendo los gastos directos e indirectos.

Tabla 22. Presupuesto y Costos Directos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Módulos LoRa 32-129x64 OLED	2	\$ 70,00	\$ 70,00
Electroválvulas de ¾ pulgada 110V de 0.12A	3	\$ 150,00	\$ 150,00
Sensor de flujo de agua ¾ pulgada de 1.75mpa	3	\$ 55,00	\$ 55,00
Interruptores de 125V – 15A	3	\$ 9,00	\$ 9,00
Sensor de presión de agua	1	\$ 30,00	\$ 20,00
Manguera de ¾ -20m	1	\$ 28,00	\$ 20,00
Aspersor de riego	3	\$ 30,00	\$ 30,00
Uniones de tubería (codos, acoples, llave de paso)	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Cable solido N.14 -30m	2	\$ 20,00	\$ 20,00
Cajas Impermeables	3	\$ 30,00	\$ 30,00
TOTAL			\$ 414,00

3.1.1. Costos de mano de obra

Tabla 23. Costos de mano de obra

Operario	Horas utilizadas (h)	Precio c/u	Valor final
Eléctrico	4	\$4,00	\$16,00
Albañil	1	\$ 12,00	\$12,00
TOTAL			\$28,00

3.1.2. Total, de costos directos

Tabla 24. Inversión total

Costos de material	\$414,00
Costos de mano de obra	\$28,00
Total	\$442,00

3.1.3. Costos indirectos

los costos indirectos durante la implementación del sistema de control de automatización de riego se va a considerar el transporte, contingencia y gasto personal.

Tabla 25 Costos indirectos

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Transporte	2 personas	\$ 5,00	\$ 10,00
Contingencia	3	\$ 10,00	\$ 20,00
Gasto personal	2 personas	\$ 5,00	\$ 10,00
TOTAL			\$ 40,00

3.1.3.1. Costo Total

Tabla 26. Costo Total

Costos	Total
Costos Directos	\$ 442,00
Costos Indirectos	\$ 40,00
Costo Total	\$ 482,00

3.2. Cálculo del VAN Y TIR

Para determinar si el sistema de riego automatizado es viable y lucrativo, se llevó a cabo un análisis económico utilizando el VAN y TIR. Se consideró que el sistema de control y seguimiento no persigue fines de lucro, por lo que se establece la rentabilidad si el proyecto produce ganancias económicas orientadas al ahorro.

Tabla 27. cálculo del TIR y el VAN

CÁLCULO DEL VAN

Datos	
Total inversión	482,00
Ft	150,00
r	0,1
t	5

VALORES CADA AÑO	
1	136,36
2	123,97
3	112,70
4	102,45
5	93,14
VAN	568,62
VAN	86,62

CÁLCULO DEL TIR

Datos	
Total inversión	482,00
Ft	150,00
r	0,2
t	5

VALORES CADA AÑO	
1	125,00
2	104,17
3	86,81
4	72,34
5	60,28
VAN	448,59
VAN	-33,41

VAN (1) POSITIVO AL 10%	86,62	
VAN (2) NEGATIVO AL 20%	-33,41	
$TIR = r1 + (VAN1 / (VAN1 - VAN2)) (r2 - r1)$		
TIR= 0,1722		

Nota: Con ese cálculo del TIR significa que es el 17% lo que quiere decir que el proyecto genera una rentabilidad superior al 10% y por eso es viable; del VAN es que con el proyecto se puede recuperar la inversión y por los 5 años generas un ahorro de \$86,62.

4. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

4.1. CONCLUSIONES

- Se investigo fuentes bibliográficas sobre el sistema de riego automatizado para poder comprender su funcionamiento y analizar a fondo su principio operativo.
- El prototipo se diseñó de acuerdo a la necesidad del usuario y riego optimizado para una adaptabilidad adecuada para un área determinada.
- Se implemento el prototipo con sus respectivas pruebas de funcionamiento para el desempeño de riego automatizado mediante IoT que disminuirá el riego excesivo.
- En el proyecto implementado se determinó el 50% de ahorro en agua y desempeño al reducir horas de trabajo manual un 87.5% dando un impacto positivo en optimización y conformidad con el usuario.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda expandir la implementación del sistema de riego rotativo aplicar sistema IoT a más zonas agrícolas dentro de la parroquia Belisario Quevedo y otras áreas rurales de Latacunga Revisar regularmente tuberías, aspersores y goteros para evitar fugas o bloqueos que afecten la eficiencia del riego.
- Para mejorar la sostenibilidad del sistema, se recomienda integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares, para alimentar los sensores y dispositivos IoT, reducir costos operativos y el impacto ambiental.
- Se recomienda explorar nuevos campos y tecnologías que podrían integrarse aún mas para este sistema de automatización y aprovechar estos nuevos recursos que permitan una mejor vanguardia para nuevas actualizaciones para el sistema de riego

4.3. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNESCO, “Códigos UNESCO (versión EQA).” Accessed: Jun. 15, 2025. [Online]. Available:
<https://documentos.eqa.es/OnlineForm/resources/CODIGOS%20UNESCO%20EQA.pdf>
- [2] GAD parroquial Rural, *Datos Generales DATOS GENERALES DE LA PARROQUIA «BELISARIO QUEVEDO»*. 2024. Accessed: Jun. 15, 2025. [Online]. Available:
https://belisarioquevedo.gob.ec/cotopaxi/datos-generales/#_ftn1
- [3] D. D. C. Freire and L. L. F. Chávez, “Diseño e implementación de un sistema IoT prototipo para el control de riego por goteo y fumigación por aspersión en cultivos de invernadero,” no. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21243/1/108T0397.pdf>
- [4] E. J. Cangas Román, “Aplicación Web de administración de base de datos y de aplicación de aprendizaje de máquina en línea para un sistema IoT de riego inteligente,” 2023, [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15339>
- [5] C. Nieto C., E. Pazmiño Ch., S. Rosero, and B. Quishpe, “Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana,” *Siembra*, vol. 5, no. 1, pp. 051–070, Dec. 2018, doi: 10.29166/siembra.v5i1.1427.
- [6] C. C. X. Rosero and R. I. A. Loza, “Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes: Aplicación,” Universidad Técnica del Norte, 2024. [Online]. Available: [https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/16243/2/04MEC 549 TRABAJO DE GRADO.pdf](https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/16243/2/04MEC%20549%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf)

- [7] T. T. L. Montaluisa and T. F. G. Vargas, “Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para incrementar el rendimiento en los cultivos basado en energía solar fotovoltaica.,” *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2021, [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24271>
- [8] L. C. Luis-García and A. R. Torres Gómez, “Desarrollo de aplicaciones IoT: metodologías y estrategias,” *European Public & Social Innovation Review*, vol. 9, pp. 1–18, Oct. 2024, doi: 10.31637/epsir-2024-1375.
- [9] C. Tonato Chuquimarca and S. Sinche Maita, “Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT,” *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, vol. 10, no. 21, pp. 55–70, 2022, doi: 10.36825/riti.10.21.006.
- [10] A. Rosales-Soto and R. Arechavala-Vargas, “Agricultura inteligente en México: Analítica de datos como herramienta de competitividad,” *Vinculatégica EFAN*, vol. 6, no. 2, pp. 1415–1427, Dec. 2020, doi: 10.29105/vtga6.2-619.
- [11] A. Espinosa, D. Ponte, S. Gibeaux, and C. González, “Estudio de Sistemas IoT Aplicados a la Agricultura Inteligente A System-based Study of IoT Applied to Smart Agriculture,” pp. 33–42, 2019.
- [12] K. Ojo-Gonzalez and B. Bonilla-Morales, “Requerimientos no funcionales para sistemas basados en el Internet de las cosas (IoT): Una revisión,” *I+D Tecnológico*, 2021, doi: 10.33412/idt.v17.2.3303.
- [13] J. E. Arango Trillos, L. O. Ramírez Orellano, D. Navarro Pino, and M. A. Rincón Pinzón, “PROTOTIPO IOT PARA MONITOREAR VARIABLES AGROAMBIENTALES DETERMINANTES EN LA PRODUCTIVIDAD DE FINCAS AGROPECUARIAS,” *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, vol. 1, no. 39, pp. 135–141, Jul. 2023, doi: 10.24054/rcta.v1i39.1415.

- [14] A. Valencia Giraldo, “La relación entre la ingeniería y la ciencia,” *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 31, pp. 156–174, 2004.
- [15] R. Romero, J. L. Muriel, I. García, and D. Muñoz de la Peña, “Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results,” *Agric Water Manag*, vol. 114, pp. 59–66, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.agwat.2012.06.026.
- [16] G. M. Naveas and M. V. Guzmán, “A flow control algorithm for high-speed computer networks,” *Ingeniare*, vol. 28, no. 1, pp. 24–30, 2020, doi: 10.4067/S0718-33052020000100024.
- [17] L. Barros, P. Silva, and R. Souza, “Análisis de LoRaWAN para IoT en ambientes rurales e industriales,” *International Journal of Communication Technologies*, vol. 29, no. 5, pp. 879–893, 2022, doi: 10.5678/ijct.2022.029.
- [18] J. Lo, S. Chen, and Y. Wang, “LoRaWAN en aplicaciones de monitoreo ambiental y gestión urbana,” *Environ Technol*, vol. 25, no. 6, pp. 400–410, 2022, doi: 10.1016/j.envtech.2022.06.006.
- [19] J. Li, Y. Zhang, and W. Chen, “Desafíos y limitaciones del uso de LoRaWAN en entornos urbanos densos,” *Sensors and Communication Review*, vol. 12, no. 3, pp. 149–160, 2021, doi: 10.1002/scr.2021.012.
- [20] M. Raza, L. Zhang, and T. Sun, “Aplicaciones de LoRaWAN en la agricultura de precisión y la automatización del riego,” *Precision Agriculture Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 128–137, 2023, doi: 10.1098/pa.2023.018.
- [21] E. J. Alvarado-Betancourt, E. J. Alvarado-Betancourt, L. F. Sabando-Piguabe, and L. F. Sabando-Piguabe, “Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso

- de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE,” *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 2021, doi: 10.46296/ig.v4i8.0023.
- [22] I. Gómez-Hurtado, M. del Pilar García-Rodríguez, I. González-Falcón, and J. M. C. Llamas, “Adaptation of active methodologies in university education in pandemic time,” *Revista Internacional de Educacion para la Justicia Social*, vol. 9, no. 3, pp. 415–433, 2020, doi: 10.15366/RIEJS2020.9.3.022.
- [23] Z. Huang, W. Li, and X. Wang, “Tendencias futuras de LoRaWAN y su integración con 5G,” *Future Networks and Technologies*, vol. 9, no. 1, pp. 56–67, 2021, doi: 10.1046/j.fnt.2021.09.
- [24] A. Ramos, T. Li, and X. Zhang, “Telegram como herramienta de comunicación y seguridad en entornos profesionales,” *Journal of Digital Communication*, vol. 19, no. 4, pp. 512–523, 2022, doi: 10.1111/jdc.2022.019.
- [25] F. Mendoza, M. González, and J. Ramírez, “Las electroválvulas en sistemas de riego: Aplicaciones y beneficios ecológicos,” *Journal of Agricultural Technology*, vol. 34, no. 7, pp. 215–223, 2022, doi: 10.1080/jagtech.2022.034.
- [26] K. Alvarado, A. Martínez, and J. Sánchez, “Aplicaciones del LoRaWAN en la optimización de la gestión urbana,” *Journal of Smart Cities*, vol. 15, no. 2, pp. 123–134, 2021, doi: 10.1234/jsc.2021.015.

- [27] R. Fernández, M. López, and A. Gómez, “Uso de ecuaciones de pedotransferencia en la planificación del riego en Perú,” *Ingeniería Agrícola y del Agua*, vol. 12, no. 4, pp. 210–225, 2023.
- [28] A. F. Álvarez and D. Georgellis, “Características y funcionamiento de los Sistemas de Dos Componentes de organismos procariotas y eucariotas,” Buenos Aires, 2016.
- [29] A. Valencia Giraldo, “La relación entre la ingeniería y la ciencia,” *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 31, pp. 156–174, 2004, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003113.pdf>

5. ANEXOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
ANEXO A	DIAGRAMAS, CIRCUITO Y DISEÑO DE PLACAS ELECTRONICAS	1 DE 6

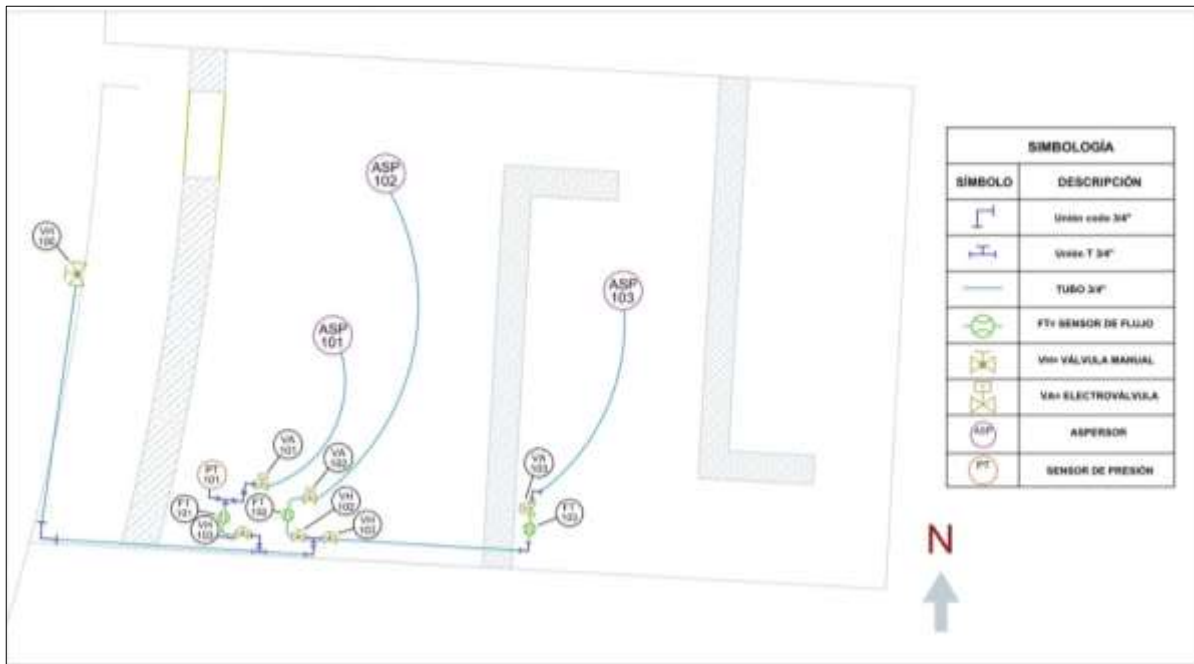


Figura 11. Distribución física del sistema de riego automatizado

CAJA PRINCIPAL

Placa 1: CPC-001

Placa 2: CPC-002

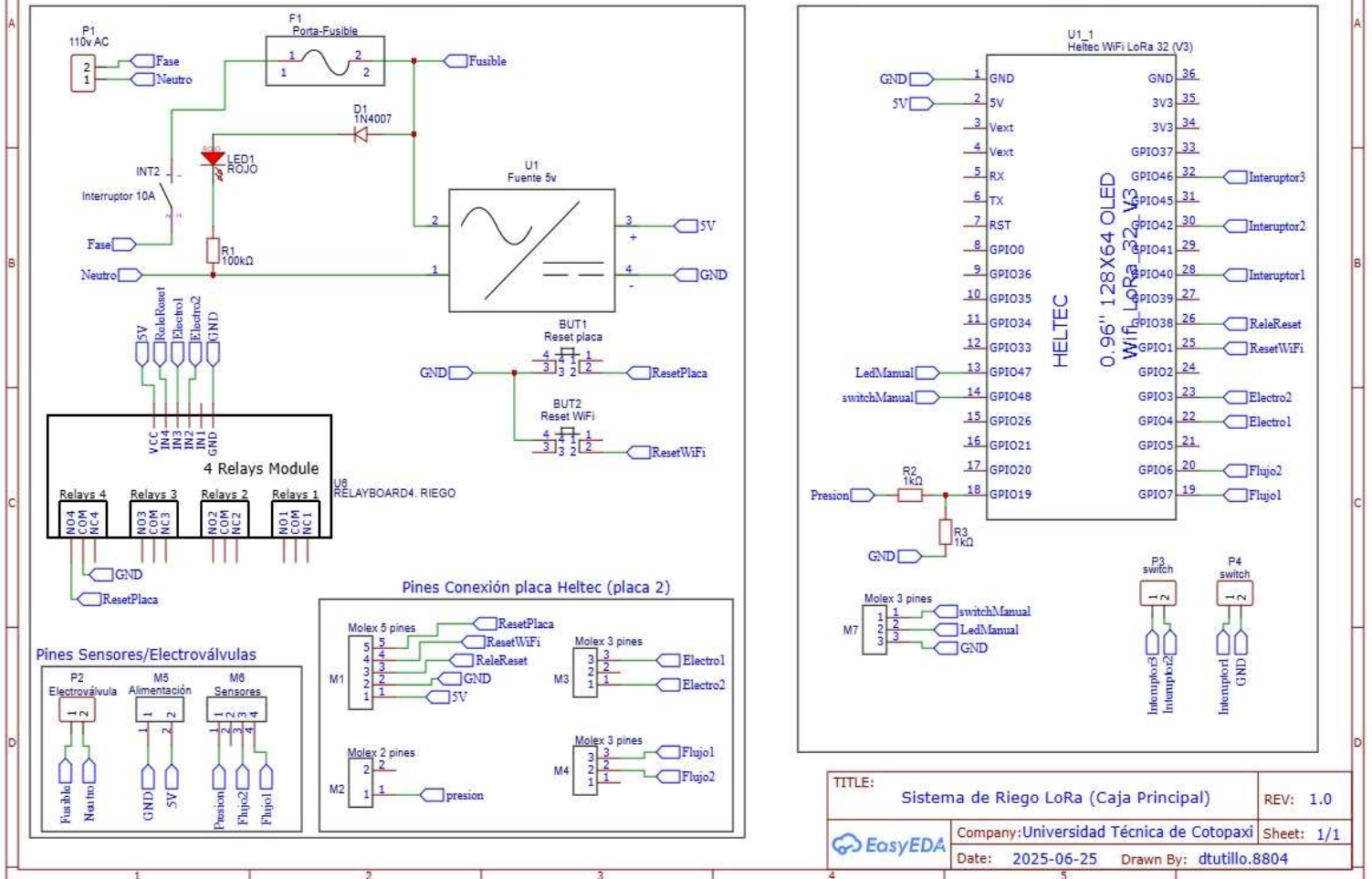


Figura 12. CPC (Caja Principal de Control) del sistema de riego automatizado

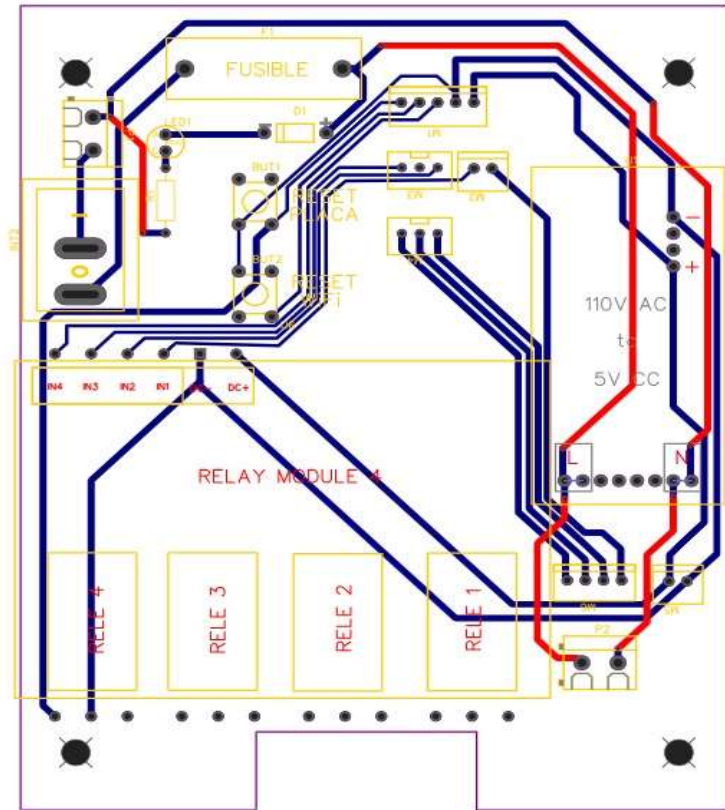


Figura 13. Placa 1: CPC-001

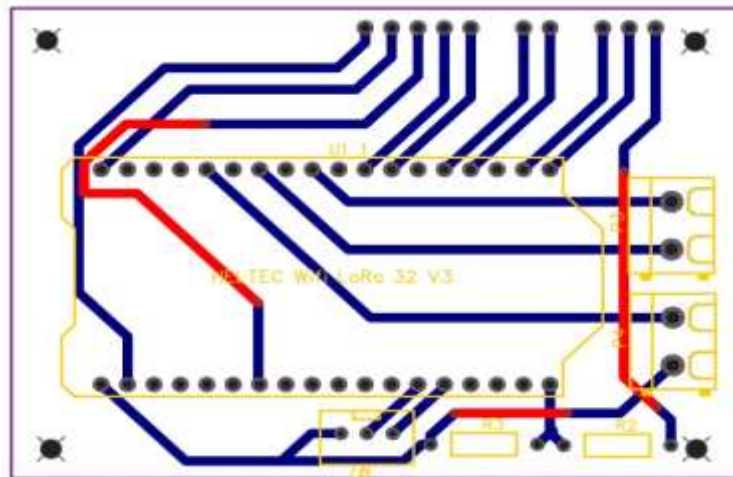


Figura 14. Placa 2: CPC-002

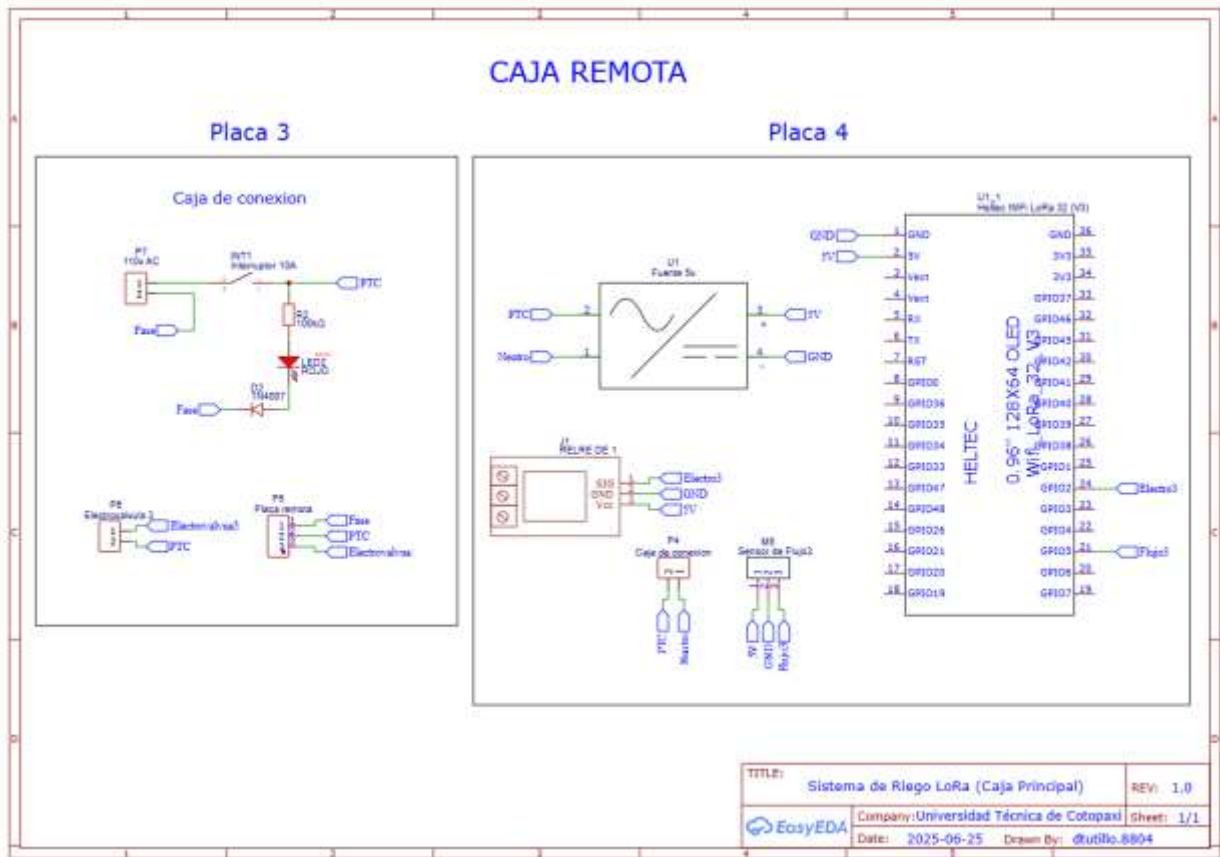


Figura 15. CRC (Caja Remota de Control) del sistema de riego automatizado

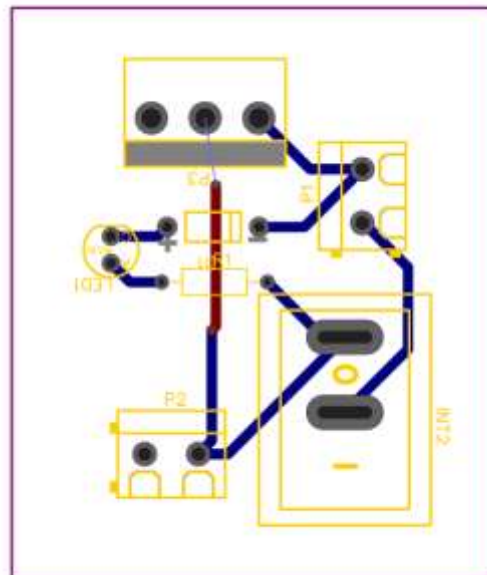


Figura 16. Placa 3: CRC-001

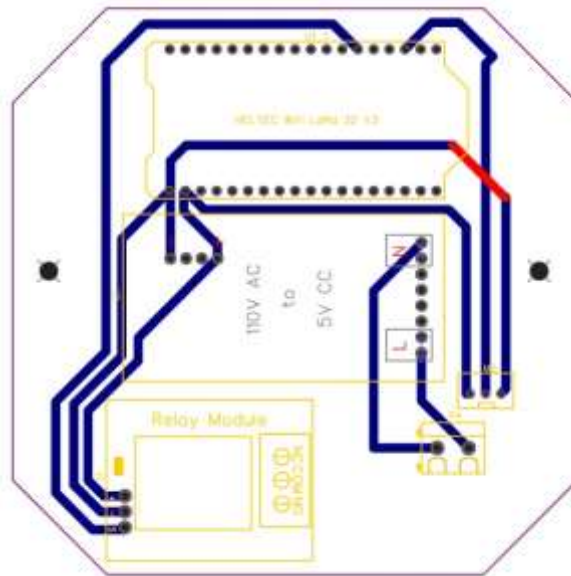


Figura 17. Placa 4: CRC-002

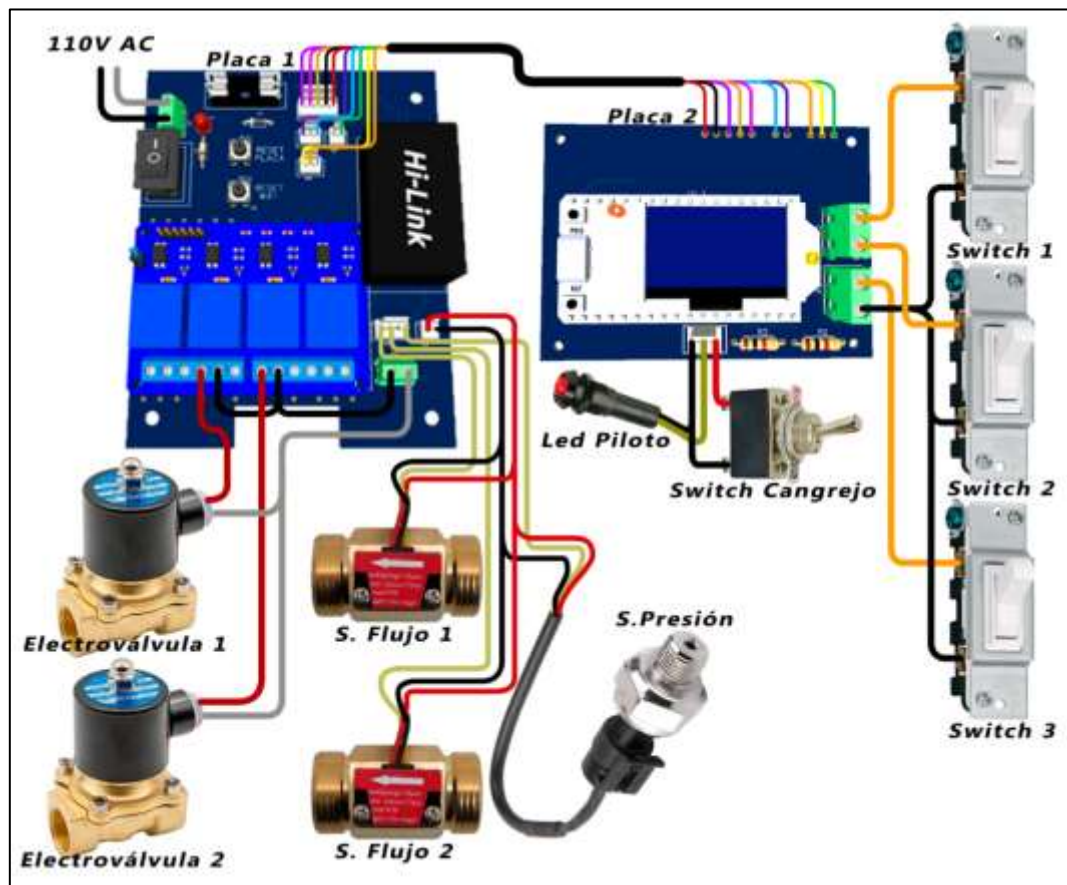


Figura 18. Diagrama de interconexión de la caja de control

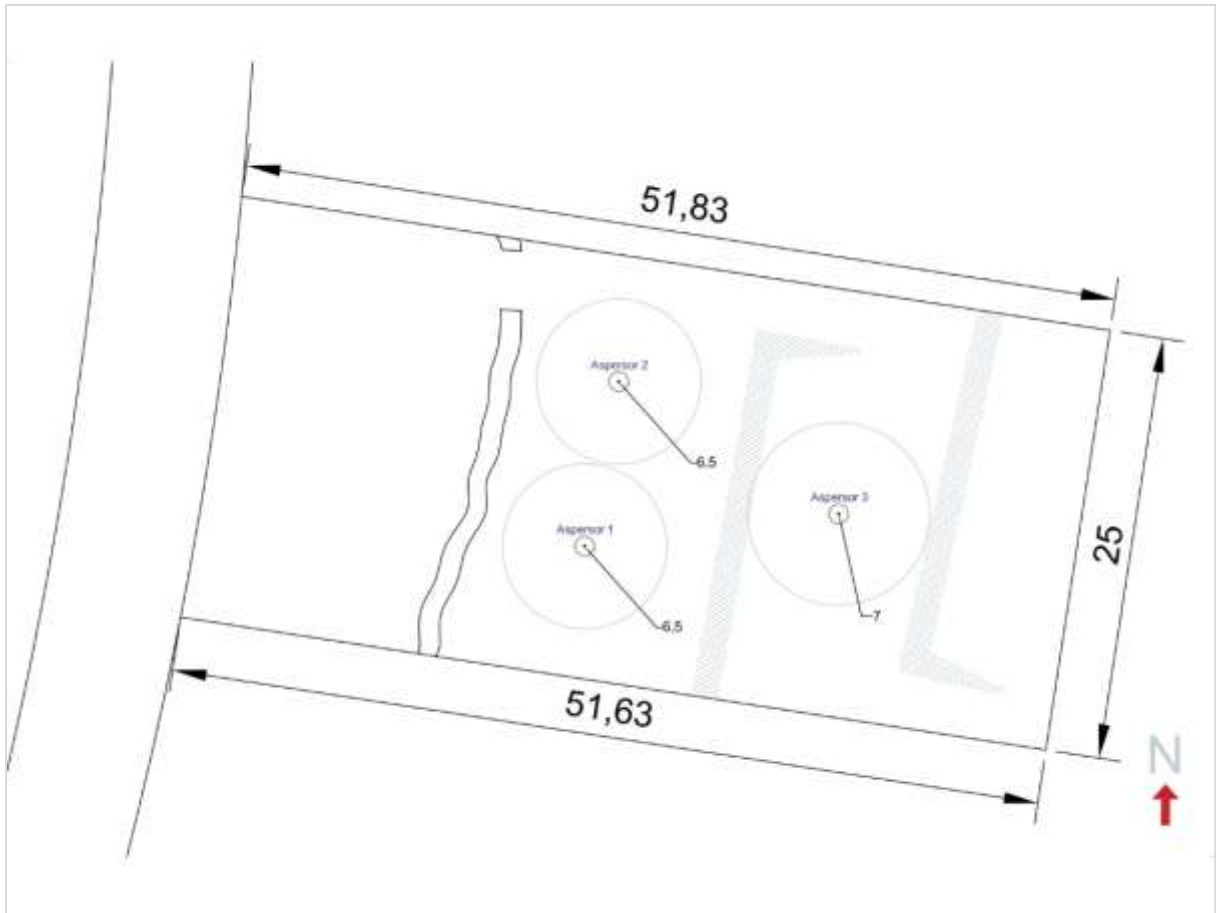


Figura 19. Ubicación de los aspersores en Belisario Quevedo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
ANEXO B	PROCESO DE INSTALACION, SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO	1 DE 6

7.1 Diseño y colocación de Electroválvulas y sensores en la tubería



Figura 20. Diseño y colocación de electroválvulas y sensores en la tubería

1.2 Implementación de electroválvulas sensores de presión



Figura 21. Implementación de electroválvulas y sensores presión

5.1. Verificación de fugas y funcionamiento en electroválvulas



Figura 22. Verificación de fugas y funcionamiento en electroválvulas

5.2. Modelo final de la implementación del prototipo



Figura 23. Modelo final de la implementación del prototipo

5.3. Instalación de tubería para la tercera Electroválvula



Figura 24. Instalación de tubería para la tercera Electroválvula

5.4. Implementación de conexión y mangueras de aspersores



Figura 25. Implementación de conexión y manguera de aspersores



Figura 26. Implementación del módulo LoRaWAN para el perifoneo de placas

5.5. Instalación del 2 modulo para la comunicación LoRaWAN



Figura 27. Instalación del 2 modulo para la comunicación LoRaWAN

5.6. Implementación de la tercera electroválvula con sus respectivos sensores de presión



Figura 28. Implementación de la tercera electroválvula con sus respectivos sensores de presión.

Aspersor instalado en la 2 planta del terreno



Figura 29. Aspersor instalado en la 2 planta del terreno

5.7. Funcionamiento de aspersores mediante IoT mediante la aplicación de Telegram



Figura 30. Funcionamiento de aspersores mediante IoT mediante la aplicación de Telegram

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
ANEXO C	Manual de Usuario	1 DE 13

1. Introducción

El manual de usuario del sistema automatizado de riego con tecnología LoRaWAN está dirigido a productores agrícolas que buscan optimizar el uso del agua mediante monitoreo remoto y control eficiente de sus cultivos.

2. Objetivos

Brindar a los agricultores una guía práctica y sencilla para el uso y mantenimiento del sistema de riego automatizado con tecnología LoRaWAN, promoviendo el aprovechamiento eficiente del agua y el monitoreo remoto de variables agronómicas.

Explicar el funcionamiento de la plataforma Telegram para el control remoto del sistema de riego.

3. Información de seguridad

Para garantizar el uso seguro del sistema de riego automatizado con tecnología LoRaWAN, se recomienda lo siguiente:

- Evitar la manipulación directa de los componentes electrónicos mientras el sistema esté energizado.
- No modificar la programación del microcontrolador ESP32 sin conocimientos técnicos adecuados.
- Usar herramientas aisladas al realizar mantenimientos en el sistema de válvulas, sensores o controladores.

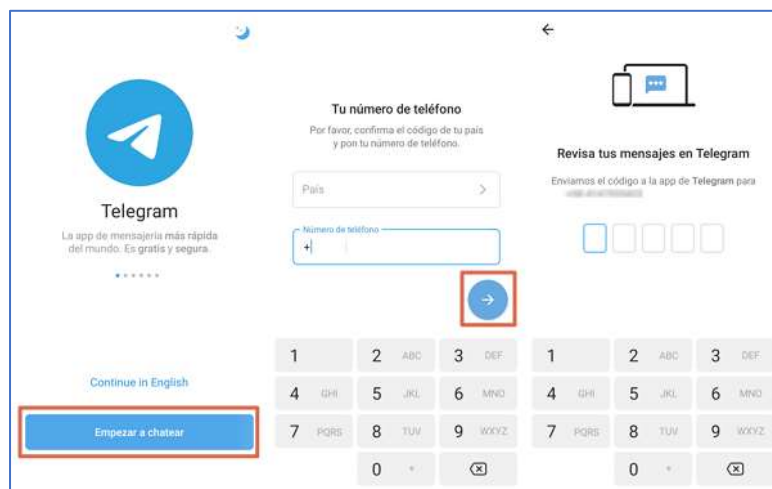
4. Funcionamiento

PASOS PARA INSTALAR DE TELEGRAM

Paso 1. Abre la aplicación Google Play Store y en la barra de búsqueda, escribe **Telegram** y presione en **instalar**.



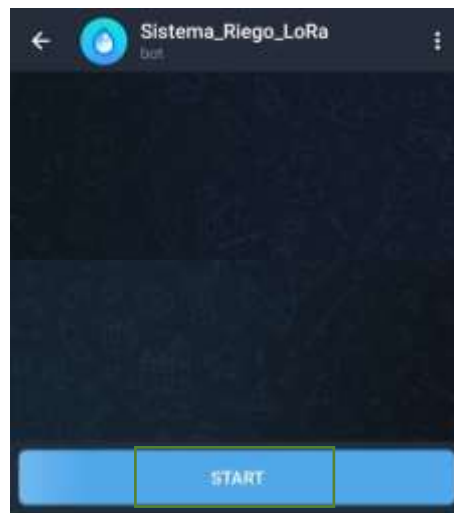
Paso 2. Abre Telegram y sigue los pasos para registrar tu número de teléfono.



Paso 3. En la barra de búsqueda (parte superior), escribe el nombre del bot “Sistema_Riego_LoRa” o a su vez escanee el código QR para acceder al chat de Telegram.

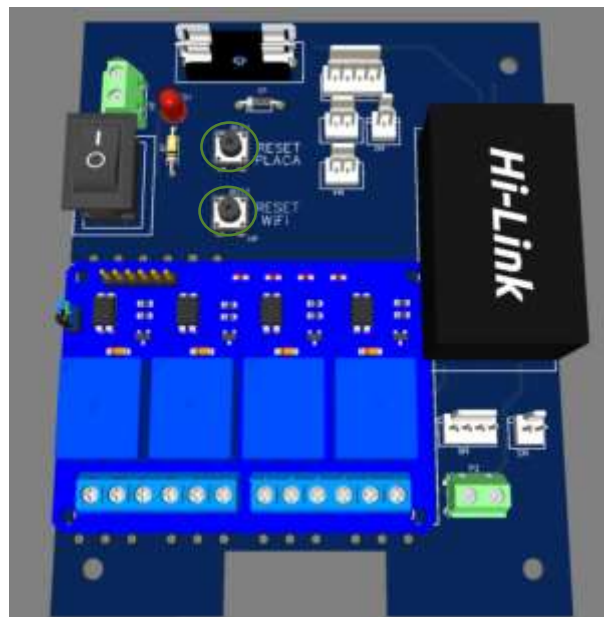


Paso 4: Pulsa “Iniciar” para comenzar la interacción.



PASOS PARA CONFIGURAR LA RED WIFI A LA PLACA PRINCIPAL

Paso 1. Mantener presionado ambos botones: reset placa, reset wifi.



Paso 2. Soltar primero el botón “Reset placa” y mantener presionado “Reset WiFi” asta que en la pantalla OLED “CONF. WIFI”

- Red: Riego_config
- IP:192.168.4.1



Paso 3. Nos conectamos a la red wifi e ingresamos a la IP desde cualquier navegador.

1. Apartado para colocar la red wifi al que vamos a conectar el módulo.
2. Apartado para colocar la contraseña de la red wifi.
3. Botón para guardar y conectar a la red wifi.
4. Botón para escanear redes cercanas.



Paso 4. Al conectar a la red wifi la placa se reinicia automáticamente, en la pantalla OLED se refleja el estado wifi: Conectado y la lectura en tiempo real de los sensores.

- WiFi: CONECTADO
- V1: L/min
- V2: L/min
- V3: L/min
- PR: PSI



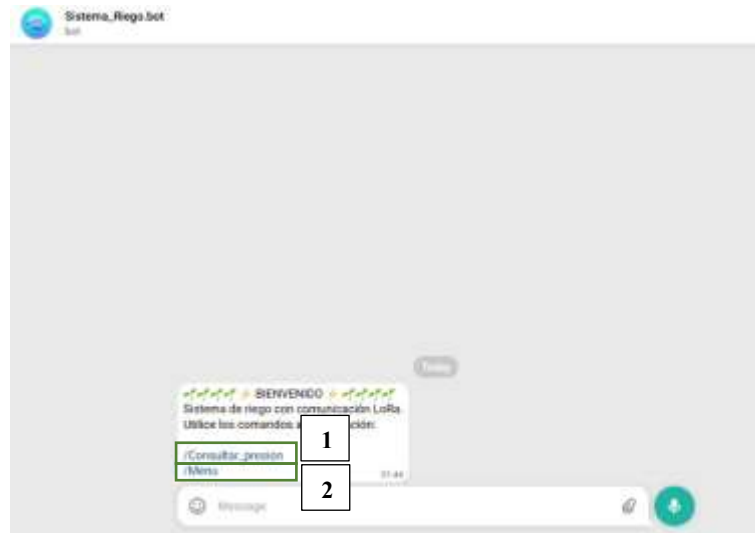
Paso 6: De esa forma corroboramos que la placa se encuentra conectada a internet, lista para el control remoto desde Telegram, al mismo tiempo a Telegram llega un mensaje de “Bienvenida”.



PASOS PARA EL CONTROL EL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE TELEGRAM

Paso 1: Los primeros comandos disponibles son:

1. /Consultar_presion
2. /Menu



Paso 2: al consultar la presión y esta supera los 40 PSI podemos encender las electroválvulas ya que es una presión óptima para el funcionamiento de los aspersores.

1. /Activar
2. Mensaje de activación de Electroválvulas.
3. Mensaje de flujo de cada aspersor.





Paso 3: En el caso en el que la presión no alcanza los 40 PSI el sistema no permite encender las electroválvulas.

1. Mensaje de presión insuficiente para el sistema de riego.



Paso 4: Para observar todos los comandos disponibles, enviamos el mensaje “/Menu”.

1. **/Consultar_caudal:** Permite consultar el caudal de agua del sistema.
2. **/Consultar_presion:** Muestra la presión de agua actual.
3. **Encender/Apagar electroválvulas:** El usuario puede activar o desactivar cada una de las electroválvulas (1, 2, y 3) con los comandos **/onv1**, **/onv2**, **/onv3**, y apagarlas con **/offv1**, **/offv2**, **/offv3**.

4. **/onv**: Activa todas las electroválvulas a la vez.
5. **/offv**: Apaga todas las electroválvulas.
6. **/estado**: Muestra el estado actual de todas las electroválvulas.



Paso 3: Adicional desde Telegram podemos programar el envío de mensajes (escribimos el comando y mantenemos presionado el botón de enviar, hasta que salga la opción de “programar mensaje”).

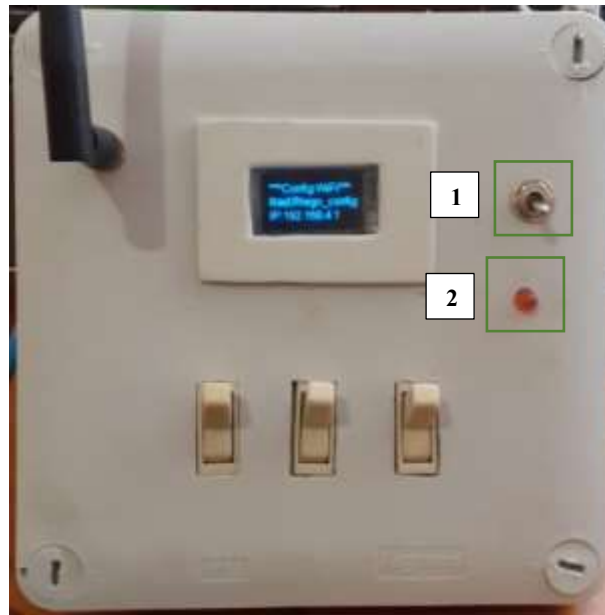
1. Mensajes programados de ON/OFF de electroválvulas.



5.7.1. PASOS PARA EL CONTROL MANUAL

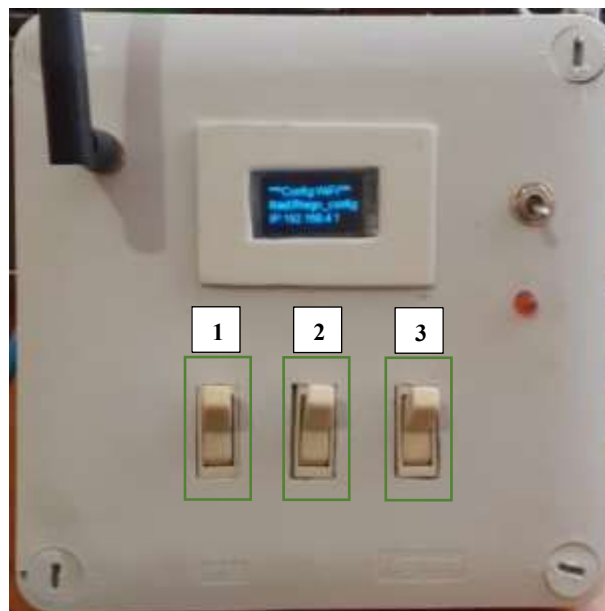
Paso 1. En la caja principal de control, activamos el interruptor ojo de cangrejo, sabemos que se activo al momento que se activa el led piloto.

1. Interruptor ojo de cangrejo.
2. Led Piloto.



Paso 2. Una vez activo el “modo manual” podemos controlar las electroválvulas únicamente desde los interruptores ON/OFF.

1. ON/OFF Electroválvula 1
2. ON/OFF Electroválvula 2
3. ON/OFF Electroválvula 3



MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA COMPOSTERA

El mantenimiento preventivo del sistema de riego automatizado con tecnología LoRaWAN tiene como objetivo asegurar su operación continua y evitar fallos prematuros. Las siguientes recomendaciones deben aplicarse regularmente:

- **Inspeccionar conexiones eléctricas** y asegurarse de que no haya cables sueltos, pelados o corroídos.
- **Verificar el estado de las válvulas solenoides** y asegurarse de que no presenten fugas o acumulación de sedimentos.
- **Revisar el módulo LoRa y la antena** para confirmar que estén firmes y sin obstrucciones que limiten la señal.
- **Actualizar el software del microcontrolador (ESP32)** si se indican mejoras en la programación o seguridad.
- **Comprobar el flujo de agua en los aspersores** y limpiar boquillas obstruidas con agua a presión.
- **Registrar fechas de mantenimiento** en una libreta o app para llevar un control de cada revisión.

5.7.1.1. Fallas y soluciones de los dispositivos

Falla	Posible causa	Solución
La tercera Electroválvula no responde	Falta de alimentación eléctrica.	Verificar si se encuentra energizado.
Los sensores no marcan correctamente	Se encuentra obstruidos.	Limpiar con precaución para no dañar
La placa Heltec LoRa 32 v3 no enciende.	Falta de alimentación	Verificar si la fuente de alimentación se encuentra energizado.
Telegram no responde los comandos.	Mala señal Wifi	Verificar que el módulo se encuentre conectado a internet.
Fallo en válvula solenoide	Daño por sedimentos o presión excesiva	Reemplazo de válvula. Instalar prefiltros si es necesario.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.7.1.2. Conclusiones

El manual de usuario permite que el operario del sistema de riego automatizado tenga un control eficaz tanto en modalidad manual como remota, facilitando la gestión hídrica desde distintos entornos operativos.

Para garantizar una operación confiable y duradera, es fundamental aplicar un mantenimiento preventivo periódico que preserve el rendimiento del sistema hidráulico y eléctrico, especialmente en los componentes de presión y flujo. Esta práctica reduce el riesgo de fallas, mejora la calidad del riego y prolonga la vida útil del sistema.

5.7.1.3. Recomendaciones

- No excedas los rangos de caudal y presión definidos, ya que podría afectar el funcionamiento del sistema.
- Evita manipulaciones innecesarias durante el mantenimiento y asegúrate de cortar la energía antes de intervenir cualquier parte del sistema.
- Conserva el diseño original del riego para garantizar un reparto uniforme del agua.
- Anota cualquier cambio en funcionamiento, mantenimiento o ajustes técnicos en una bitácora para futuras referencias.