



*“Formando líderes para la construcción
de un nuevo país en paz”*

SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO BASADO EN UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS DE UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA

Autor

Eduar Felipe Pimiento Ruiz

Director

Diego Armando Mejía Bugallo

Ingeniero Mecatrónico

Universidad de Pamplona

**PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA
2022**



Autor: Eduar Felipe Pimiento Ruiz

Director: Diego Armando Mejía Bugallo

Dedicatoria:

Primero quiero dar gracias a Dios que día a día me ha dado la fortaleza y sabiduría para afrontar cada situación, a mi esposa y mi hija que han sido un apoyo y motivación para seguir adelante, mis padres y hermanos por el apoyo que día a día me brindan.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1.	1.....	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
			10
1.1		Descripción del problema	10
1.2		Formulación del problema	10
2.	2.....	JUSTIFICACIÓN	
			11
3.	3.....	DELIMITACIONES	
			12
3.1		Espacio	12
3.2		Tiempo	12
3.3		Contenido	12
3.4		Alcance	13
3.5		Objetivo General	13
3.6		Objetivos Específicos	13
3.7		Acotaciones.....	13
4.	4.....	REFERENTES TEÓRICOS	
			15
4.1		Estado del arte o antecedentes	15
4.2		Riego por aspersión	17
4.2.1		Tipos de sistemas de riego por aspersión	18
	4.2.1.1	Convencionales.....	18
	4.2.1.2	Auto mecanizados.....	19
	4.2.1.3	Riego localizado por microaspersión	19
	4.2.1.4	Desplazamiento radial.....	19



4.2.1.5	Desplazamiento frontal	19
4.3	Sensores	20
4.4	Elementos necesarios para realizar la instalación de un sistema de riego 21	
4.4.1	Bombeo	23
4.4.2	Equipo de fertilización	23
4.4.3	Equipo de filtrado	24
4.4.4	Manómetros	24
4.4.5	Red de tuberías	24
4.4.6	Módulo opto acoplados rele de 4 canales.....	24
4.4.7	Módulo wifi ESP32.....	26
4.4.7.1	Características	28
4.4.8	Modulo sensor humedad del suelo resistente a corrosión .	29
4.4.9	Electroválvula solenoide 220v – 3/4"	31
4.4.9.1	Características	32
4.5	Ecuaciones	33
4.6	Tablas.....	37
5. 5.....	METODOLOGÍA	40
5.1	Tipo de estudio empleado	40
5.1.1	Fuentes primarias.....	40
5.1.2	Fuentes secundarias.....	40
5.2	Diseño metodológico.....	41
5.2.1	Investigación	42
5.2.2	Diseño del sistema.....	42



5.2.3	Sistema de control y automatización	42
5.2.4	Implementación del sistema.....	42
5.2.5	Prueba de funcionamiento	43
5.3	Ejecución de los objetivos planteados	43
5.3.1	Identificar las variables ambientales y del cultivo a tener en cuenta para la automatización del sistema de riego.....	43
5.3.1.1	Variables que se deben tener en cuenta para la implementación de nuestro sistema de riego	43
5.3.2	Implementar una red de sensores que permita medir la temperatura y humedad del suelo.	47
5.3.2.1	Seleccionar los tipos de sensores con mayor eficiencia para satisfacer la necesidad	48
5.3.2.2	Realizar un estudio del área donde se va realizar la implementación de la red.....	49
5.3.2.3	Implementar la red de sensores inalámbricos.....	50
5.3.3	Implementar el sistema de control teniendo en cuenta las características de la parte lógica, cableada y tipo de red de sensores.....	51
5.3.3.1	Realizar el análisis de los requerimientos del terreno y las necesidades de los usuarios.	53
5.3.3.2	Diseño del sistema de riego automatizado	54
5.3.4	Validar el sistema de riego automatizado en cuanto a la optimización del uso del agua y la mejora en el nivel de productividad del cultivo.	56
5.3.4.1	Evidenciar el buen funcionamiento de los diversos módulos del sistema (fuente de alimentación, sensores, actuadores, comunicación, interfaces de usuario, etc.)	57



5.3.4.2	Evaluar el rendimiento del sistema durante un período de tiempo específico.....	61
5.3.4.3	Determinar el rendimiento y la calidad alcanzados en la instalación del sistema de riego.....	62
6.	6.....	RESULTADOS
		64
7.	7.....	CONCLUSIONES
		69
8.	8.....	PRESUPUESTO
		70
9.	ANEXOS.....	75



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Riego por aspersión _____	18
Ilustración 2. Sensor de humedad _____	20
Ilustración 3. Modulo relé de 4 canales opto acoplados _____	26
Ilustración 4. Modulo wifi Nodemcu _____	28
Ilustración 5. Modulo sensor humedad del suelo _____	30
Ilustración 6. Electroválvula _____	32
Ilustración 7. Diseño metodológico _____	41
Ilustración 8. Red de sensores _____	50
Ilustración 9. Diagrama de bloques funcional _____	51
Ilustración 10. Diseño del invernadero _____	54
Ilustración 11. Diseño de ubicación de los sensores _____	55
Ilustración 12. Diseño de la red de tuberías _____	55
Ilustración 13. Diseño del acople de los aspersores _____	56
Ilustración 14. Validación del comportamiento de la humedad _____	60
Ilustración 15. Diagrama de tuberías e ilustración de invernadero P&ID ____	64
Ilustración 16. Diseño del circuito empleado _____	65
Ilustración 17. Diseño del circuito empleado _____	65
Ilustración 18. Diseño de la red de tuberías _____	66
Ilustración 19. Plataforma digital firebase _____	67
Ilustración 20. Diagrama de flujo _____	67



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales del sistema de riego _____	21
Tabla 2. Características Modulo Relé 4 Canales _____	26
Tabla 3. Especificaciones Técnicas Modulo Wifi _____	28
Tabla 4. Características del sensor de humedad _____	31
Tabla 5. Características de la electroválvula _____	32
Tabla 6 Datos _____	37
Tabla 7 Perdida de carga por fricción en tuberías en (m/100m) _____	37
Tabla 8 Coeficiente de Christiansen _____	38
Tabla 9 Registro de datos de humedad _____	58
Tabla 10. Validación de Humedad _____	60
Tabla 11 Presupuesto _____	70



INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Diseño del sistema de riego_____	75
Anexo B. Explicación de los componentes del sistema_____	76
Anexo C. Red de tuberías y aspersores _____	76
Anexo D. Datos vistos desde la plataforma firebase _____	77



INTRODUCCIÓN

Basado en la implementación para el manejo de medios que permiten la compilación de información ya sea por comunicación inalámbrica, datos, voz, la internet, bluetooth, etc. Los cuales han tenido un gran avance como medios de enlace entre dispositivos permitiendo una fácil manipulación y mayor rendimiento en la comunicación entre dispositivos.

Gracias a la comunicación inalámbrica y la internet se hizo posible el desarrollo del proyecto “RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EN UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA”. Este proyecto tiende a focalizar la comunicación inalámbrica donde se reciben los datos suministrados por los sensores de humedad del suelo y temperatura donde son procesados y controlados para enviar una señal a las electroválvulas para inicializar el sistema.

Teniendo en cuenta algunas características que usan en la agricultura con el fin de mantener la humedad requerida en cada cultivo, donde conlleva mantener un riego controlado y así conservar los productos de alta calidad, evitando que estos se dañen o en el mayor de los casos se presente pérdida total siendo esto la principal necesidad para demostrar la utilidad e importancia del sistema.

Tomando en cuenta los avances tecnológicos que se tienen con el pasar del tiempo y dado a que se encuentran al alcance de todos, se opta por impulsar más la tecnología para tener un control de riego donde además de brindar una mejoría en los cultivos, nos permite tener una recolección en el uso eficiente del agua y así evitar el desperdicio del recurso hídrico.

El proyecto también pretende reducir el impacto ambiental, evitando el vertido excesivo de agua procedente del riego manual. Este sistema demuestra que la tecnología se puede utilizar para encontrar formas de aumentar los niveles de producción de alimentos de alta calidad que benefician a comunidades enteras y proporcionan buenas características para el consumo humano.



Esto nos permite optimizar y minimizar las importantes pérdidas ocasionadas por los descuidos en el proceso de cultivo, uno de los problemas más apremiantes en la actualidad. Este contenido describe todo el proceso requerido para desarrollar y llevar a cabo un sistema de riego automatizado para invernaderos, primero se detallaron implementaciones similares tanto en invernaderos como en cultivos. También se presentan estudios sobre los efectos de la operación de sistemas de control de humedad, riego y factores climáticos sobre la calidad de los cultivos. Luego se realizó una evaluación de necesidades basada en las visitas al sitio en el ISER para determinar los requisitos de diseño. Finalmente, se discutirá la implementación del sistema, riego y resultados obtenidos y margen de mejora.



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El sector agrícola es uno de los sectores en el que más se utilizan los recursos naturales suelo y agua; aproximadamente el setenta por ciento del agua que se extrae en el mundo es utilizado para sistemas de riego, esto incrementando debido a la evaporación en los cultivos, siendo la agricultura uno de los sectores que más consume agua y de los principales como factor económico en los países subdesarrollados. A nivel mundial, más de treientos treinta millones de hectáreas cuentan con instalaciones de riego. La agricultura de regadío representa el veinte por ciento del total de la superficie cultivada y aporta el cuarenta por ciento de la producción total de alimentos en todo el mundo. [1]

En Colombia aproximadamente un noventa por ciento de la población tiene sistema de riego por gravedad sin tener acceso a un control de la cantidad de agua requerida para mantener la humedad de los cultivos ocasionando desperdicio exagerado del agua. De acuerdo a esto, no se tiene un control sobre qué cantidad de agua necesita un cultivo productivo para mantener buena calidad en los frutos ya que al no contar con una red de sensores en el sistema de riego se pueden presentar pérdidas en la producción de los cultivos y sequías por el uso indebido del agua.

La falta de conocimiento sobre las condiciones del cultivo relacionadas con el estado ambiental no permite controlar los términos bajo los cuales se desarrolla la siembra. Por eso es importante tener fácil acceso a las variables en tiempo real para la toma de decisiones en los valores extremos para cada variable. [1]

1.2 Formulación del problema

¿Cómo implementar un sistema automatizado de riego basado en una red de sensores inalámbricos para un invernadero?



2 JUSTIFICACIÓN

El adecuado uso de agua es una de las mayores problemáticas que se presentan actualmente; razón por la que la implementación de la ciencia y la tecnología para diseñar sistemas que permita la reducción del consumo de agua y garantizando el mismo servicio es una de las metas que se plantea día a día con los estudios investigativos.

Por tal motivo, el Banco Mundial sugiere aumentar la eficiencia en el consumo de agua para los sistemas de riego, lo cual dependerá de las mejoras fuera de las explotaciones agrícolas con los presupuestos destinados para este fin y la aplicación de la tecnología para las inversiones dentro de las explotaciones agrícolas que serán destinadas a mejorar el suelo, el agua y a mejorar la calidad de las semillas que se van a producir ya que estas ayudan en el mejoramiento de la productividad. [1]

Razón por la que en el proyecto de investigación dentro del contexto educativo el ISER con énfasis en un invernadero se propone la implementación de una red de sensores inalámbricos para la implementación de un sistema de riego automatizado mediante el control y monitoreo de las variables ambientales que afectan al cultivo, esto con la finalidad del uso eficiente del recurso hídrico.

Con los conocimientos adquiridos durante los estudios de ingeniería electrónica y después de investigar temas de actualidad e investigar varios dispositivos, se tendrá las habilidades suficientes para utilizar la tecnología más adecuada para implementar proyectos y crear un entorno social útil y de impacto en la sociedad y así comprender los conceptos de hardware y control.



3 DELIMITACIONES

3.1 Espacio

El proyecto se llevó a cabo en un invernadero del ISER municipio de Pamplona. Primero se realizaron adecuaciones al terreno e invernadero ya existente, se le hizo mejoras a el sistema hidráulico para el riego, posterior a esto se realizó la instalación eléctrica para generar energía e instalar sensores, sistemas electrónicos y de control. Se ha tomado un espacio adecuado en casa para realizar las pruebas necesarias y se cuenta con todo el equipo necesario para la programación, conexión e instalación de sensores, redes de control y envío de datos.

3.2 Tiempo

Para el diseño, implementación y pruebas del proyecto se cuenta con un tiempo de 12 semanas, lo cual corresponde al segundo periodo académico del año 2022. Las visitas al instituto se iniciaron desde el mes de septiembre del año 2022 y se dio inicio al proyecto en ese mismo mes con el fin de concluir en el mes de noviembre. Finalizado el tiempo se realizará la entrega del sistema de riego automático implementado en el invernadero construido y la interfaz de monitoreo de variables ambientales.

3.3 Contenido

De acuerdo a la propuesta se determinaron los siguientes pasos para desarrollar el proyecto y alcanzar los resultados. Recopilar información sobre los sistemas de riego existentes actualmente en los invernaderos, identificar variables determinantes para el adecuado desarrollo del cultivo y necesidades específicas de la comunidad. Llevar a cabo el diseño correspondiente de sistemas hidráulicos, sistemas de control y sistemas de comunicación y llevar a cabo pruebas de rendimiento funcionales correspondiente a análisis de los datos recogidos.



3.4 Alcance

Una vez finalizada la implementación y las pruebas funcionales correspondientes, el proyecto será remitido a la comunidad beneficiaria para sus respectivos mecanismos y cuidado del sistema implementado.

3.5 Objetivo General

Implementar una red de sensores inalámbricos para el funcionamiento de un sistema de riego automatizado en un invernadero del ISER en el municipio de Pamplona.

3.6 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar las variables ambientales y del cultivo a tener en cuenta para la automatización del sistema de riego.
- ✓ Implementar una red de sensores que permita medir la temperatura y humedad del suelo.
- ✓ Implementar el sistema de control teniendo en cuenta las características de la parte lógica cableada y tipo de red de sensores.
- ✓ Validar el sistema de riego automatizado en cuanto a la optimización del uso del agua y la mejora en el nivel de productividad del cultivo.

3.7 Acotaciones

Para el desarrollo de este proyecto se implementó un arreglo de sensores comunicados de forma inalámbrica los cuales son los encargados de proporcionar la información necesaria para mantener la humedad del suelo requerida por nuestros cultivos, además de mejorar el sistema productivo de un cultivo; se ejecutó un sistema de riego automatizado donde se puede contar con un control y monitoreo de temperatura y humedad del suelo, ya que será la principal fuente de información en dicho sistema.



El monitoreo puede ser ejercido desde una plataforma digital donde nos podrá mostrar los datos de temperatura y humedad, así como el estado en que se encuentran los dispositivos. Se espera que este proyecto sea la base para futuras implementaciones en otros proyectos teniendo en cuenta las necesidades que se encuentran en los sistemas de riego como por ejemplo en la papa.



CAPITULO 1

4 REFERENTES TEÓRICOS

4.1 Estado del arte o antecedentes

Dicho autor desarrolló un sistema de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos SARH¹. Donde nos indica la problemática que se encuentra con la forma de riego actual, donde encuentra una deficiencia en dicha actividad por los derrames en los embalses y las pérdidas por la distribución donde emplea políticas hidráulicamente flexibles para optimizar los beneficios del uso del agua. Nos muestra una diversidad de sistemas hidráulicos empleados para automatizar los canales de riego para incrementar la eficiencia en el manejo del agua, además, nos muestra el resultado de un estudio realizado al distrito de riego ubicado en Valle del río Yaqui, Sonora. [2]

Manuel Aguilar Rodríguez realizó el proyecto Diseño y optimización de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un sistema de riego agrícola. Presenta un sistema que permite el monitoreo de posibles fugas en las compuertas del agua o pérdidas de presión en los sistemas, para ello se realiza una red inalámbrica de sensores los cuales están enfocados al sistema de distribución de agua en el municipio, este permite el aprovechamiento de agua para utilizarse como riego en diferentes cultivos de la región evitando la pérdida de cultivos y mejorando la producción de los mismos, el diseño de sensores (Wireless Sensor Network, WSN), consta de un sistema base con un protocolo de enrutamiento y diferentes nodos. Además, se procederá a realizar el modelado matemático de la función objetivo y las restricciones con la finalidad de minimizar el consumo de energía en los nodos que pertenecen a una WSN, mediante el balanceo de carga de información. [3]

¹ Administración y Control de Sistemas Hidrológicos.



Dichos autores realizaron el diseño de un prototipo a una red de sensores inalámbricos, siendo una tecnología con grandes impactos en la ingeniería durante los últimos años. Esta red permite el registro y monitoreo de las variables sobre el estado de un cultivo, para ello utilizaron tarjetas de desarrollo Beaglebone Black, en donde fueron integrados sensores de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y cámaras digitales.

La información recopilada es transmitida con el protocolo de red inalámbrica WLAN², un servidor que permite el registro y control de datos desde MySQL con sistema operativo Linux. [4]

Dentro del proyecto³ ciertos autores, realizaron un diseño e implementación de una aplicación Web que permite realizar el monitoreo de la temperatura y humedad del suelo para un cultivo en el municipio de Pamplona, diseñan una red de sensores utilizando tecnología Zigbee con módulos Xbee S2 de la empresa DIGI con los que obtienen las variables físicas como temperatura y humedad del suelo emitidas por los sensores. Adicional crean una base de datos donde almacenan la información obtenida por la red. Para la integración se apoyan del software Matlab para la captura de los datos y almacenamiento, por último, diseñan 5 páginas Web, inicio, transacciones, tecnología, cultivo y videos. [5]

Monitoreo de humedad en suelo a través de red inalámbrica de sensores, este presenta un sistema para facilitar el monitoreo de la humedad del suelo el cual se basa en una red tecnológica de comunicación, consiste en una red de sensores inalámbrica la cual es una tecnología emergente que se ha estado desarrollando en el ámbito agrícola durante los últimos años.

² Wireless Local Area Network.

³ Desarrollo de una aplicación web para registrar la temperatura y humedad del suelo, obtenidos por una red de sensores inalámbricos, utilizando el estándar IEEE 802.15.4.



Para ello desarrollan tres nodos de sensores enfocados al monitoreo de la humedad del suelo, estos sensores son acoplados para medir la humedad con el principio de reflectometría en dominio de la frecuencia, se les realiza una calibración para la obtención de parámetros de ajustes en el nodo de la red de sensores los cuales son visualizados en una interfaz para realizar su análisis y almacenamiento, en la instalación y funcionamiento se cuenta con un análisis para determinar la eficiencia de la misma con respecto a la humedad del suelo requerida en los ciclos del cultivo. [6]

4.2 Riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión es uno de los distintos métodos de riego para cultivos que existen en actualmente. Este método consiste en aplicar el agua con el fin de que esta sea esparcida en el cultivo en una forma similar a la lluvia, es decir, mediante un chorro de agua pulverizada en gotas. El mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para dispararla. El riego como tal debe ser potenciado a través de un sistema de bombeo o en su defecto por gravedad que viene siendo la forma más utilizada dado a la economía que presenta en los sistemas.

Con la aplicación de este mecanismo es posible alcanzar una eficiencia respecto a la aplicación teniendo resultados de un ochenta por ciento aproximadamente, donde lo ideal es realizar una óptima inversión para lograr los objetivos propuestos y así los cultivos comiencen a crecer. [7]



Ilustración 1. Riego por aspersión



Nota. Tomada de [8].

4.2.1 Tipos de sistemas de riego por aspersión

Existen una gran cantidad de sistemas de riego por aspersión, dependiendo de las necesidades de cada campo de producción se utiliza el sistema indicado, a continuación, le contamos algunas de ellas:

4.2.1.1 Convencionales

Los convencionales son los primeros sistemas de riego que se desarrollaron y fueron los más utilizados durante mucho tiempo. En este tipo de sistemas existen dos tipos de sistemas por aspersión:

- ✓ **Sistema convencional fijo:** los sistemas fijos son aquellos donde los aspersores se ubican fijos con el fin de que ellos se mantengan instalados mientras tener la producción del cultivo. En cuanto al sistema de tuberías, este puede estar enterrado quedando fuera del alcance con el fin de no ser dañado en los procesos de labrado durante los procesos del cultivo, también puede ubicarse en la superficie si se cuenta con un invernadero o la estructura disponible esto con el fin de no generar más gastos en la instalación. [7]



- ✓ **Sistemas convencionales semifijo:** estos sistemas de riego por aspersión semifijos hacen referencia a aquellos que son desplazados de un cultivo a otro de forma manual o mecanizada, estos se caracterizan por tener un desmontaje práctico que permite separar las tuberías de forma sencilla para hacer más práctico su desplazamiento. [7]

4.2.1.2 Auto mecanizados

La diferencia de estos sistemas con los convencionales es que los sistemas de riego por aspersión auto mecanizados cuentan con motores eléctricos o sistemas hidráulicos que facilitan el movimiento en el cultivo esto se realiza ya sea desplazándose, girándolos y demás formas existentes. También suelen ser auto mecanizados, los sistemas de riego pivotantes, permiten desplazamiento lateral o carros de riego y algunas máquinas regadoras.

4.2.1.3 Riego localizado por microaspersión

Se considera un sistema de riego para que su gota sea más fina, quiere decir que es similar al que ofrece el mecanismo por nebulización, pero el agua cae casi en la misma forma que el agua.

4.2.1.4 Desplazamiento radial

Se monta una tubería sobre ruedas y gira de forma radial para que el suministro de agua.

4.2.1.5 Desplazamiento frontal

En esta situación, el tubo se desplaza de manera perpendicular llevándose a cabo un riego superficial en una zona de trabajo rectangular desde un canal paralelo.



4.3 Sensores

Los sensores son herramientas capaces de detectar y responden a un tipo de información del entorno en que se encuentran. Existe diferentes tipos de sensores utilizados en la vida diaria, los cuales son clasificados según las cantidades y características con las que son diseñados para detectar. Algunos ejemplos pueden ser; sensores de corriente eléctrica, magnéticos, sensores de humedad, sensores de velocidad o flujo, sensores de presión, sensores térmicos o de temperatura, sensores ópticos, sensores de posición, sensores ambientales y sensores químicos. [9]

Ilustración 2. Sensor de humedad



Nota. Tomada de [10]



4.4 Elementos necesarios para realizar la instalación de un sistema de riego

Tabla 1. Componentes principales del sistema de riego

COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE RIEGO			
NOMBRE	PRECIO	IMAGEN	DESCRIPCION
Bomba	\$259.000		Maquina empleada para elevar la presión del agua.
Filtros	\$182.300		Es un tipo de malla o materia porosa con la finalidad de retener impurezas encontradas en el agua.
Manómetro	\$113.500		Dispositivo capaz de medir la presión con la que se encuentra funcionando nuestro sistema de riego.
Red de tuberías	\$11.000		Red de tubos de PVC interconectados con el fin de hacer llegar el agua hasta los aspersores.



**SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO BASADO EN UNA RED DE SENSORES
INALAMBRICOS DE UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA**

Aspersores	\$800.000		Dispositivo mecánico capaz de convertir un flujo líquido presurizado en rocío.
Modulo relé de 4 canales	\$25.000		Dispositivo encargado de realizar el Switcheo de cargas de potencia.
Modulo wifi	\$150.000		Dispositivo encargado de realizar la comunicación inalámbrica de la red de sensores.
Modulo sensor de humedad	\$170.000		Dispositivo capaz de determinar el volumen de agua encontrada en el suelo.
Electroválvula	\$280.000		Dispositivo capaz de dar paso al fluido del agua en el momento de recibir una señal y además de contener o cerrar el paso de agua.

Nota. Las imágenes incluidas en la tabla son fuentes del autor.



Autor: Eduar Felipe Pimiento Ruiz
Director: Diego Armando Mejía Bugallo

Para la instalación de un sistema de riego es necesario llevar una investigación de los elementos que se van a utilizar, para evitar costos adicionales y garantizar un buen funcionamiento del mismo.

Los elementos necesarios para realizar un buen sistema de riego son:

4.4.1 Bombeo

El bombeo consta de una moto-bomba con un motor, estos motores generalmente son eléctricos o también hay ocasiones que se deben usar bombas alimentadas con un motor diésel para elevar la presión del agua, estas se ven más que todo donde se requieren desplazar en distintos cultivos por lo son implementadas dado a que no es rentable tener instalaciones eléctricas en distintos lugares.

Dependiendo del acuífero o naciente, la bomba puede ser sumergida en tres posibles posiciones, vertical, horizontal o monoblock.

Para calcular la potencia de la bomba es necesario conocer el caudal y la presión para abastecer la instalación de riego, las pérdidas de carga de la propia bomba, de las tuberías y accesorios, de los emisores y el rendimiento de la bomba.

El bombeo en ocasiones no se hace necesario siempre y cuando el agua llegue por gravedad con una presión eficiente como para que nuestro sistema funcione sin necesidad de hacer uso de un bombeo.

4.4.2 Equipo de fertilización

Estos equipos son utilizados en la red de riego con el fin de llevar los fertilizantes a la raíz de la planta por medio de la aportación de agua de riego al suelo, por los emisores deben ser adecuados al uso que se les va dar, en nuestro vivero se está haciendo uso de una bomba eléctrica la cual impulsa el agua desde un recipiente donde se realiza la mezcla de los fertilizantes hacia los puntos donde se están germinando hortalizas, este depósito debe ser mezclado mientras se está realizando la aplicación con el fin de mantener una fertilización homogénea.



4.4.3 Equipo de filtrado

El filtro de malla se coloca después de la impulsión para eliminar las impurezas que contiene el agua de riego como, por ejemplo, hojas, pedrisco, palitos, basuras y demás. Antes se suele colocar un filtro caza piedras que impide el paso de partículas de mayor tamaño.

4.4.4 Manómetros

El manómetro es un dispositivo que se coloca con el fin de conocer la presión, generalmente se coloca uno en la salida, con este dispositivo podemos calcular la presión con la que funciona nuestro sistema por si en dado caso es necesario aumentarla o disminuirla.

4.4.5 Red de tuberías

La red de tubería de impulsión habitualmente es implementada con tubos de PVC o dado el caso en sistemas más grandes se utilizan tubos de hierro, esto dependiendo de la presión que se quiere controlar. En nuestro caso se usaron tubos de PVC ya que son ideales en cuanto a costo y servicio prestado para nuestro sistema, estos son los encargados de conducir el agua desde la captación o sondeo hasta nuestro cultivo, la tubería primaria o de distribución generalmente de PVC es la que conduce todo el caudal necesario desde el cabezal de riego hasta los aspersores de riego.

4.4.6 Módulo opto acoplados relé de 4 canales

El módulo de cuatro canales “relé” es un dispositivo electromagnético el cual tiene una funcionalidad de un interruptor el cual es controlado por medio de un circuito eléctrico donde una bobina y un electroimán son los encargados de realizar dicho procedimiento, estos accionan uno o varios contactos para permitir activar o desactivar otros dispositivos diferentes, en este caso se usó para la activación de las electroválvulas.



Este módulo de relés de 4 canales diseñados con el fin de realizar la conmutación de cargas de potencia su funcionalidad en los contactos de los relevadores puede ser usado para conmutar cargas de hasta 10A y 250VAC (30VDC) siendo útil para la implementación de nuestro invernadero ya que se van a trabajar electroválvulas alimentadas con 220V, en este tipo de dispositivo se recomienda usar por debajo de los límites descritos en la hoja de características. Las entradas en este dispositivo se encuentran aisladas con el fin de que puedan ayudar a minimizar el ruido generado por el circuito de control mientras este dispositivo realiza la conmutación para poner en funcionamiento las electroválvulas.

La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control, en este caso se envía desde un módulo ESP32, el cual tiene como funcionalidad mantener un bajo consumo quedando fácil para realizar las conexiones para su funcionalidad.

Este módulo es muy eficiente en el momento de conmutar cargas de corriente alterna (CA) conectadas a la red eléctrica, es capaz de soportar todos los microcontroladores siendo muy útil para realizar la activación de nuestras electroválvulas, este dispositivo también puede ser usado para mantener el control de controladores lógicos programables (PLC), entre otros usos. Dicho módulo tiene la capacidad de controlar varios equipamientos de alta corriente durante tiempos prolongados. También puede ser controlado por muchos microcontroladores como por ejemplo Arduino, Intel 8051, regulación automática de voltaje (AVR), controlador de interfaz periférico (PIC), procesador de señales digitales (DSP), Maquina avanzada de conjunto de instrucciones reducido (ARM). [11]



Ilustración 3. Modulo relé de 4 canales opto acoplados



Nota. Tomada de [11].

Tabla 2. Características Modulo Relé 4 Canales

Características	
Canales independientes	4 con protección y optoacopladores
Relés	4
Polos	2
Voltaje en la bobina del relé	5 VDC
Modo de activación	mediante corriente desde 15 a 20 m.a

Nota. Fuente del autor.

4.4.7 Módulo wifi ESP32

El módulo Wifi ESP32 es ideal para el uso en instalaciones inalámbricas dado a que este es compatible con la mayoría de routers del mercado. Este microcontrolador es encargado de ejecutar las sentencias del programa y gestionar las entradas y salidas de los pines.



El módulo cuenta con una compilación de código desarrollado abiertamente basado en un dispositivo o chip ESP32 (ESP-12E), el cual utiliza un lenguaje de programación LUA con el que podemos crear un desarrollo apacible para ser usado en aplicaciones donde sean requeridas las comunicaciones inalámbricas ya que cuenta con conectividad Wifi la cual transmite de manera rápida siendo útil en distintos sectores industriales.

La función principal de este módulo es mantener la comunicación con el fin del intercambio de información en el mundo ya que dependiendo del uso puede ser visualizado desde una plataforma digital. Este nos entrega la solución completa y autosuficiente de redes Wifi, ya que el dispositivo permite alojar la aplicación o servir como dispositivo de enlace entre la Internet y un microcontrolador.

El dispositivo tiene diversas capacidades en cuanto al procesamiento y almacenamiento lo cual le permiten integrarse con sensores siendo esta la aplicación requerida en nuestro proyecto, también puede ser conectada con dispositivos específicos de aplicación lo cual es permitido a través de sus GPIOs, al mismo tiempo está capacitado para minimizar el desarrollo y es capaz de mantener una carga mínima durante el tiempo en que se encuentra realizando la ejecución. Este dispositivo al ser caracterizado por tener un alto grado de integración en el chip nos brinda la posibilidad de tener un uso mínimo de circuitos externos, lo cual nos brinda en su totalidad la solución a la problemática actual con el cableado, incluso este módulo está diseñado para ocupar un área más pequeña que otros dispositivos alámbricos.

La versión de este dispositivo incluye un pin de salida (VU) de 5V para tener una conexión USB, este usa como conversor FTDI el chip CH340G, para esto se necesita de drivers y los pines permiten que se monte fácilmente.

La Nodemcu LUA WIFI v3.0 se caracteriza por comprender un desarrollo de hardware libre el cual incorpora el chip de WIFI ESP32 y el chip CH340G, con lo cual nos permite hacer la conexión USB directamente al computador y de esta manera poder realizar la programación con el software de programación Arduino.

[12]



Ilustración 4. Modulo wifi Nodemcu



Nota: Tomada de [12]

4.4.7.1 Características

- ✓ El dispositivo contiene código abierto.
- ✓ Este dispositivo es interactivo
- ✓ El dispositivo es programable
- ✓ El dispositivo es de bajo costo
- ✓ El dispositivo es inteligente
- ✓ Cuenta con modulo Wifi para su transmisión de datos
- ✓ El dispositivo es compatible con el microcontrolador Arduino
- ✓ Cuenta con conexión para su programación USB-TTL included, plug&play

Tabla 3. Especificaciones Técnicas Modulo Wifi

Especificaciones técnicas	
Voltaje de alimentación	5V DC
Volteje de entradas y salidas	3.3V DC
Modelo	ESP8266 (Módulo ESP-12)
Frecuencia de Reloj	80MHz/160MHz
Instruction RAM	32KB



Data RAM	96KB
Memoria Flash Externa	4MB
Pines Digitales GPIO	17 se configuran como PWM a 3.3V
Pin Analógico ADC	1 (0-1V)
Potencia de salida	19.5dBm en modo 802.11b
Corriente de fuga	menor a 10uA
Consumo de potencia Standby	1.0mW (DTIM3)
Referencia de producto	NODEMCU LOLIN CH340

Nota. Fuente del autor.

4.4.8 Modulo sensor humedad del suelo resistente a corrosión

Un sensor de humedad del suelo es un dispositivo capaz de medir la humedad actual en el suelo para enviar los datos en tiempo real, esto se logra siempre y cuando este interconectado. Estos sensores son integrados en los sistemas de riego con el fin de ayudar a programar el suministro y la distribución de agua de tal forma que la humedad requerida por el cultivo sea la adecuada. Estos dispositivos nos ayudan a reducir la cantidad de agua aplicada a los cultivos ya que en el momento de la implementación se realiza un enfoque en la reducción de pérdida del suministro hídrico además de mejorar el riego para tener una mejora en el crecimiento de las plantas.

El módulo sensor de humedad del suelo empleado para este sistema tiene la capacidad de ser resistente a corrosión higrómetro, este dispositivo está diseñado para mantener un monitoreo de la humedad del suelo con el fin de mantener un control de humedad de la tierra donde se encuentren cultivos o plantas. Las puntas de dicho sensor conllevan un proceso donde son tratadas para resistir mejor la oxidación y alargar su vida útil ya que este se va mantener expuesto a diferentes temperaturas además de estar en la superficie.



El sensor consiste en una sonda con dos terminales metálicas separadas adecuadamente y un módulo que realiza el tratamiento de datos entregando una salida analógica y una salida Digital dependiendo del acoplamiento de dicho sensor.

Este módulo es ideal para implementar como dispositivo de adquisición de datos en nuestro sistema de riego automático dado a las características del invernadero y teniendo en cuenta que está sometido a las variables climáticas, con la adecuación de este sistema podemos evitar que las personas no tengan la necesidad de estar administrándolas constantemente ya que la manipulación manual puede generar daños en los cultivos, estos daños pueden ser maltratos en las plantas, se pueden arrancar de raíz en el momento de mover la tubería o en caso de que un tubo no quede bien empalmado o se parta puede generar daños mayores, daños que se evitaban con nuestro sistema. Además, nuestro sensor cuenta con sensibilidad ajustable por medio de un potenciómetro. [13]

Ilustración 5. *Modulo sensor humedad del suelo*



Nota: Tomada de [13]



Tabla 4. *Características del sensor de humedad*

Características	
Modelo	HD-38 Sonda Metálica
Voltaje de alimentación	3.3V ~ 12V DC (VCC)
Corriente	30 mm
Salidas	Ao y Do

Nota. Fuente del autor.

4.4.9 Electroválvula solenoide 220v – 3/4"

Las electroválvulas son las encargadas de dar paso al flujo de agua o en su defecto de interrumpirlo dependiendo de la señal suministrada por nuestro controlador.

Una válvula solenoide es una válvula de tipo on/off o encendido/apagado. Esta tiene dos partes: el solenoide y el cuerpo de metal. El solenoide es un electroimán, este tiene un comportamiento característico que se mueve con el diafragma de la válvula y permite el paso del agua para iniciar el riego. En esta válvula, el solenoide actúa directamente sobre el diafragma, por lo que no se necesita de una presión mínima para su funcionamiento. Mientras el solenoide se encuentre energizado, la válvula permanecerá abierta y cuando él se interrumpe la energía el resorte viene siendo el encargado de devolver la válvula a su posición original, quedando cerrado el flujo del agua. La electroválvula tiene conexión hembra de tres cuartos de pulgada y funciona con una alimentación 220VAC. Esta válvula es la ideal para agua y fluidos de baja viscosidad. [14]



Ilustración 6. Electroválvula



Nota. Tomada de [15]

4.4.9.1 Características

Tabla 5. Características de la electroválvula

Características	
Modelo	2W-200-20
Tamaño	3/4"
Funciona	gas, agua, aceite, aire
Tipo	normalmente abierta
Valor Cvu	7.6
Viscosidad del fluido en operación	< 20 CST
Presión de trabajo	Agua/Aceite:0~5 kgf/cm ² , Aire/Gas:0~7 kgf/cm ²
Resistencia máx. de presión	10.5 kgf/cm ²
Rango de temperatura de operación	-5~80°C



Voltaje	AC220V
Potencia	44 watts Aprox
Rango de voltaje	±10%
Diámetro de flujo	aprox 20mm

Nota. Fuente del autor.

4.5 Ecuaciones

- ✓ Calcular el diámetro de un lateral de PVC en riego por aspersión con los datos de la tabla 5.

Descripción y aplicación de las ecuaciones:

- ✓ **Longitud lateral**

$$L = l_0 + l(n - 1) \quad (1)$$

Donde

l_0 = Longitud del aspersor

l = Longitud entre el aspersor

n = Numero de aspersores

Aplicamos:

$$L = 12 + 4(12 - 1) = 56 \quad (2)$$



✓ **Longitud ficticia**

Tenemos que el caudal por aspersor es entre 0,3 y 1,5 l/seg

$$lf = (1.10) \quad (3)$$

$$L = (1.10)56$$

$$L = 61,6 \approx 62$$

✓ **Caudal en el origen del lateral**

$$Q = n * q \quad (4)$$

$$Q = 12 * 1.10 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = 13,2 \approx 14 \frac{m^3}{h}$$

Donde

q= Caudal de cada aspersor

n= número de aspersores

✓ **Perdida de carga máxima admisible**

$$h_{max} = 0,2 * P \quad (5)$$

$$h_{max} = 0,2 * 4bar$$



Necesitamos convertir 4 bar a " cmH_2O "⁴ lo cual daría lo siguiente:

$$\begin{aligned} & \frac{1 \text{ bar} \rightarrow 1019,74 \text{ cmH}_2\text{O}}{4 \text{ bar} \rightarrow X} & (6) \\ & \frac{4 \text{ bar} * 1019,74 \text{ cmH}_2\text{O}}{1 \text{ bar}} \\ & = 4070,976 \text{ cmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

Entonces reemplazamos el resultado de la ecuación 6 en la ecuación 5

$$\begin{aligned} h_{max} &= 0,2 * 4078,977 & (7) \\ h_{max} &= 815,8 \approx 8,16 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

✓ Diámetro del lateral

- Pérdida de carga total

Para calcular el diámetro del lateral debemos saber cuál es la pérdida de carga total. Donde se tiene la siguiente ecuación:

$$h = J * F * lf \quad (8)$$

Donde J y F son constantes tomadas de la Tabla 6 y 7. Por lo cual se toman las medidas con diámetros diferentes con el fin de que la pérdida de carga total no sea superior a la pérdida de carga máxima admisible. Por ende, para seleccionar el valor de J basados en la tabla 6 nos ubicamos dentro de un diámetro aproximado el cual podamos utilizar, en este caso tomamos diámetros de $\frac{1}{2}$ pulgada y $\frac{3}{4}$ de pulgada. Donde encontramos valores de:

J= 40,112m/100 con diámetro de $\frac{1}{2}$

J= 18,402m/100 con diámetro de $\frac{3}{4}$

Estos valores se dividen en 100 por lo cual obtenemos

⁴ Centímetros Columna de Agua



Para diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada

$$J = \frac{40,112}{100} \quad (9)$$

$$J = 0,401m$$

Para diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgada

$$J = \frac{18,402}{100} \quad (10)$$

$$J = 0,184m$$

Para el factor F se toman los datos como lo ilustra la Tabla 7 en la columna $\beta = 180$ donde sugiere tomar los datos para tubería PVC. Donde $F=0,400$, por lo cual se toma la ecuación 8 y reemplazamos.

Para diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada, tomamos el resultado de la ecuación 3 y 9.

$$h = 0,401 * 0.400 * 62 \quad (11)$$

$$h = 9.95 mH_2O$$

Como vemos que la perdida de carga total obtenida es superior a la perdida de carga máxima admisible procedemos a realizar el cálculo con el siguiente diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada, tomamos los resultados de la ecuación 3 y 10.

$$h = 0,184 * 0,400 * 62 \quad (12)$$

$$h = 4,56 \approx 5mH_2O$$

Como podemos ver tenemos una pérdida de carga = $5mH_2O$ siendo un valor inferior a los $8.16mH_2O$ obtenidos en la ecuación 7 de la carga máxima admisible; observando que la condición se cumple podemos determinar que el diámetro para el tubo de PVC que se debe usar en nuestro sistema es de $\frac{3}{4}$ de pulgada.



4.6 Tablas

Tabla 6

Datos

Tabla de datos	
Numero de aspersores	12
Caudal del aspersor	$1.10 \frac{m^3}{h}$
Presión del trabajo	4 bar
Separación de aspersores	4m
Distancia en las orillas del lateral	12m

Nota. Fuente de autor.

Tabla 7

Perdida de carga por fricción en tuberías en (m/100m)

	1"1/2"	1"3/4"	2"
Caudal $\frac{m^3}{h}$	38,1 mm	44.4 mm	50,8 mm
	(exterior)	(exterior)	(exterior)
	36,3 mm	42.6 mm	49 mm
	(interior)	(interior)	(interior)
1	0,266	0,122	0,062
2	0,961	0,441	0,223
3	2,037	0,934	0,473
4	3,47	1,592	0,805
5	5,246	2,406	1,217
6	7,353	3,372	1,706
7	9,782	4,87	2,269



8	12,526	5,745	2,906
9	15,579	7,146	3,614
10	18,936	8,685	4,393
11	22,591	10,363	5,241
12	26,541	12,173	6,157
13	30,782	14,118	7,141
14	35,31	16,195	8,191
15	40,122	18,402	9,307
16	45,215	20,739	10,489
17	50,587	23,203	11,735
18	56,236	25,793	13,045
19	62,158	28,509	14,419
20	68,351	31,35	15,856

Nota. Tomada de [16]

✓ **Coeficiente de Christiansen**

El factor de Christiansen (F) se puede calcular mediante la expresión siendo n el número de derivaciones (emisores) y el exponente de la fórmula utilización de la pérdida de carga. Los valores de F pueden conocerse mediante el empleo de la tabla 7 cuando la primera derivación esté a una distancia del comienzo de la tubería (l_o), igual a la equidistancia (l) entre las derivaciones, es decir $l = l_o$, o bien cuando la primera derivación está situada a una distancia del comienzo del lateral igual a la mitad del espaciamiento entre derivaciones ($l_o = 1/2$).

Tabla 8

Coeficiente de Christiansen

1o=1					
N	$\beta = 1,75$	$\beta = 1,80$	$\beta = 1,85$	$\beta = 1,90$	$\beta = 2,00$
1	1	1	1	1	1
2	0,65	0,644	0,639	0,634	0,625
3	0,546	0,54	0,535	0,528	0,518



**SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO BASADO EN UNA RED DE SENSORES
INALAMBRICOS DE UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA**

4	0,497	0,491	0,486	0,48	0,469
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,44
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408
8	0,428	0,422	0,415	0,41	0,398
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385
11	0,31	0,404	0,397	0,392	0,38
12	0,406	0,4	0,394	0,388	0,376
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373
=14	0,4	0,394	0,387	0,381	0,37
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365
17	0,393	0,387	0,38	0,375	0,363
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361
19	0,39	0,384	0,377	0,372	0,36
20	0,389	0,382	0,376	0,37	0,359
$\beta=1,80$ para tuberías de PVC					

Nota. Tomada de [16].



CAPITULO 2

5 METODOLOGÍA

Para el estudio, el diseño y la implementación de nuestro sistema de riego automatizado fue necesario consultar en diferentes fuentes de información, dichas fuentes se describen a continuación:

5.1 Tipo de estudio empleado

La investigación trata en un estudio mixto dado a que se van a validar los cambios de variables ambientales sobre los cultivos y se realiza una intervención para el control de las mismas; para ello se hace uso de dos fuentes de información:

5.1.1 Fuentes primarias

En las fuentes de información primarias se hizo uso de libros y sitios web que contienen la información más relevante para implementar un sistema de riego útil, además de técnicas para la implementación de los dispositivos asociados y la correcta forma de interconexión para que cumplan la función propuesta.

5.1.2 Fuentes secundarias

Se realizaron estudios a trabajos de investigación y artículos de prototipos que han realizado los cuales cumplen con funciones similares al sistema de riego propuesto en el presente proyecto con la finalidad de evaluar las alternativas más calificadas que han utilizado con el fin de que nuestro sistema sea cada vez más eficiente, adicionalmente artículos de estudios experimentales realizados sobre

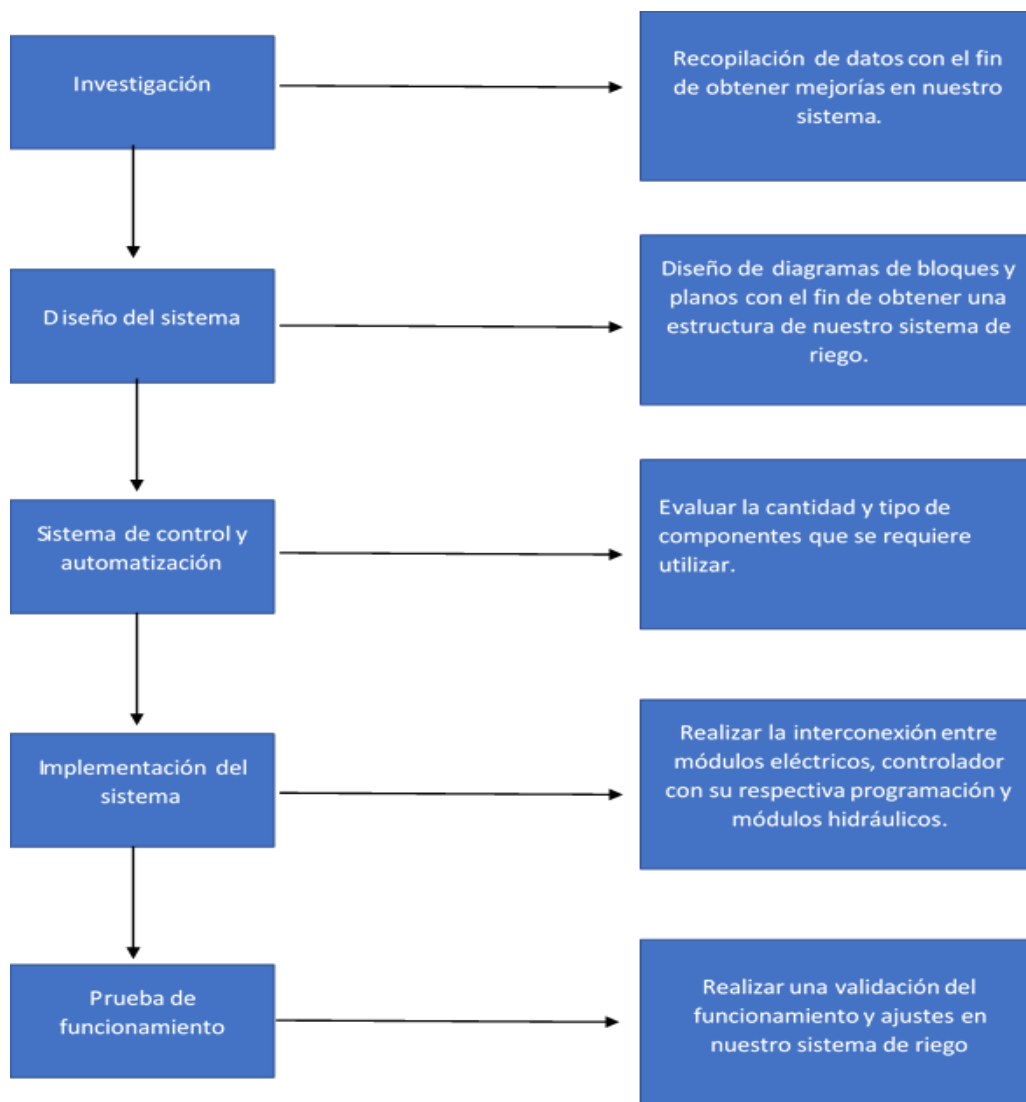


el tiempo y la cantidad de agua que necesita un cultivo para tener rendimiento y calidad en sus frutos.

5.2 Diseño metodológico

Con el fin de cumplir los objetivos planteados se llevó a cabo un plan metodológico dividido en diferentes fases como se observa en la figura 7, el cual fue necesario llevar a cabo secuencialmente.

Ilustración 7. Diseño metodológico



Nota. Fuente del autor.



5.2.1 Investigación

- ✓ Explorar la base de datos de proyectos similares propuestos para encontrar la mejor tecnología para ponerla en marcha en el proyecto.
- ✓ Recoger información sobre los factores que determinan la necesidad de riego de los cultivos.
- ✓ Caracterización del terreno mediante visitas de campo donde se despliega el sistema para determinar tipo de cultivo, tamaño, tipo de suelo, etc.

5.2.2 Diseño del sistema

- ✓ Apreciar el alcance de riego por cada diagonal situando los sensores de tal forma que se pueda cubrir la totalidad del vivero para poder determinar la temperatura y humedad presente en el suelo.
- ✓ Diseñar diagramas eléctricos, hidráulicos y de interfaz de usuario.
- ✓ Definir diagramas de flujo que describan el comportamiento del sistema.

5.2.3 Sistema de control y automatización

- ✓ Evaluar la cantidad y tipo de componente que se requiere utilizar.
- ✓ Visualizar los componentes del sistema, sensores, actuadores, unidad de control, fuente de alimentación y módulo de comunicación, considerando los factores económicos y técnicos.
- ✓ Tener en cuenta la parte lógica cableada para obtener la información pertinente de los factores ambientales para determinar el tiempo en que se va tener funcionando nuestro sistema de riego.

5.2.4 Implementación del sistema

- ✓ Describir las características de los sensores y actuadores en el laboratorio.
- ✓ Incorporar los diversos módulos del sistema, hidráulicos y electrónicos.



- ✓ Programar la unidad de control.
- ✓ Desarrollo de una interfaz de usuario para monitoreo de variables y control de riego.
- ✓ Realice las simulaciones correspondientes para demostrar que es correcto el sistema operativo.

5.2.5 Prueba de funcionamiento

- ✓ Evidenciar el buen funcionamiento de los diversos módulos del sistema (fuente de alimentación, sensores, actuadores, comunicación, interfaces de usuario, etc.)
- ✓ Evaluar el rendimiento del sistema durante un período de tiempo específico.
- ✓ Determinar el rendimiento y la calidad alcanzados en la instalación del sistema de riego.

5.3 Ejecución de los objetivos planteados

5.3.1 Identificar las variables ambientales y del cultivo a tener en cuenta para la automatización del sistema de riego.

5.3.1.1 Variables que se deben tener en cuenta para la implementación de nuestro sistema de riego

Con las investigaciones realizadas se ha podido mostrar que el uso funcional de riego nos permite encontrar altos rendimientos en los cultivos ya que se aprovechan mejor los fertilizantes, encontrando fuertes reducciones en los costos que generan ciertos insumos ya que en el momento en Colombia se encuentra muy elevado el costo de estos productos.

Para lograr obtener mayores rendimientos en un cultivo es necesario tener una correcta administración del agua dado a que día a día la expansión en las intensidades de tierra que se cultivan genera una escasez del recurso hídrico el cual es fundamental para la producción; por ello debemos usarla con mucha rentabilidad ya que con el podemos contar para satisfacer dicha necesidad.



En algunos lugares se está haciendo reutilización del agua lluvia adicional a los altilives existentes en cada lugar esto con el fin de lograr mantener la humedad del suelo requerida por cada cultivo evitando que se encharquen o se pierda el recurso por escurrimientos en casos más frecuentes donde los terrenos son inclinados.

Para lograrlo el suelo donde se tenga el cultivo debe tener una buena preparación por ejemplo no debe estar muy compactado o pulverizado ya que el agua podría filtrarse más rápido o evaporarse, por otro lado, es recomendable que dicha preparación del suelo se haga utilizando técnicas ancestrales como son el arado o utilizando de discos pequeños que no profundicen la tierra demasiado.

Para que no se genere compactación, se recomienda tener una cobertura vegetal o en nuestro caso se empleó en un invernadero haciendo uso de poli sombra negra siendo un tipo de malla tejida que está fabricada con fibras resistentes de polietileno de alta densidad ideal para que los rayos de luz solar y las gotas de agua lluvia no incidan directamente sobre la zona plantada durante el período de barbecho, ya que el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo es menor. Parte de esa agua es retenida por la misma cobertura y liberada más lentamente, permitiendo una mejora de las condiciones para infiltración y disminuyendo la escorrentía.

Por ejemplo, el cultivo de maíz, frijol, trigo, etc, tienen unas necesidades variables de agua en las distintas etapas de crecimiento y desarrollo con un máximo en todo el ciclo de 500 a 600 mm de agua. Durante la formación de la espiga se da el máximo consumo diario y se determina el rendimiento potencial máximo de agua de la planta, hasta el momento de la formación del grano, donde requiere más o menos unos 300 mm.

En el momento de instalar el riego se deben considerar algunas variables antes de tomar la decisión de instalación ya que todos los cultivos comprenden de distintas necesidades de humedad del suelo.



Para llevar a cabo este sistema de riego se debe conocer la profundidad y ubicación de la balsa donde se está cultivando, así como la cantidad y calidad del agua que se le debe suministrar al cultivo. También puede ser importante conocer el ph del agua o lo que es la calidad del agua en relación a su salinidad y su peligrosidad sódica dado a que las plantaciones actúan diferente dependiendo del cultivo. Las aguas con un contenido salino de hasta 0,50 gramos por litro se pueden utilizar en casi todos los casos. Mientras que sólo se podrán usar para regar suelos con muy buena permeabilidad, produciendo cultivos con buena tolerancia a la salinidad, en caso de que el contenido es de hasta 2,5 gramos por litro. Si las aguas superan una salinidad de 2,5 gramos por litro, no podrán ser utilizadas para el riego ya que los cultivos responden más con aguas dulces.

El índice de relación de absorción de sodio (RAS) que expresa la relación entre los iones de sodio, el calcio y el magnesio existente en el suelo, señalando si el agua es apta para riego o si puede producir la solidificación del suelo, la cual puede resultar perjudicial para los cultivos. Es decir, mide la cantidad sódica al indicar la relación entre los contenidos de sodio, calcio y magnesio en el agua.

Los aspectos que se deben tener en cuenta para elegir un tipo de sistema u otro son:

- ✓ **El caudal de agua disponible:** Es una de las variables más fundamentales en el momento de llevar a cabo el sistema de riego automatizado ya que de ello depende la funcionalidad de el mismo, en caso de que esta no sea suficiente se debe realizar estanque o algún tipo de almacenamiento del agua con el fin de tener disponibilidad para el momento en que se requiera, en caso de que el agua no sea suficiente el sistema no funcionara correctamente quedando los aspersores con baja presión y este factor podría afectar el riego, por ejemplo si no llega buena presión de agua los aspersores no pueden abarcar la totalidad y podrían quedar espacios secos.



- ✓ **La superficie o terreno que se desea regar:** Es bien sabido que existen diversos tipos de terreno como por ejemplo si el terreno es arenoso, polvoso, arcilloso, etc se le debe aplicar agua acoplándose a la necesidad del cultivo esto dado a que cada terreno tiene una filtración de agua diferente.
- ✓ **La capacidad del sistema que se desea implementar:** Se debe formular viendo la cantidad de terreno que se va estar regando esto con el fin de tener la cantidad exacta de aspersores a implementar además de la cantidad de agua requerida dependiendo del tipo de cultivo existente.
- ✓ **La cantidad de días necesarios para regar una superficie determinada:** El tiempo de uso de nuestro sistema se debe analizar con el fin de tener una certeza de que el agua disponible es suficiente además de saber la húmeda que necesita el cultivo, en caso de no realizar una buena programación en nuestro sistema ocasionara que los cultivos no tengan buena calidad en sus frutos.
- ✓ **La topografía del terreno; si es inclinado u ondulado:** Donde los terrenos son inclinados la humedad del suelo suele bajar más rápidamente debido al descorrimiento del agua, caso contrario donde el terreno es plano el agua suele mantenerse un poco más adicional a esto se debe revisar la calidad de tierra ya que si es arenosa, polvosa, arcillosa, etc se le debe aplicar agua acoplándose a la necesidad del mismo.
- ✓ **El método empleado para llevar el agua hasta el punto de riego:** El mejor método que se puede implementar en un sistema de riego para llevar el agua hasta el punto donde va ser instalado dicho sistema es por tubería, en el momento de la instalación lo que se evita es tener fugas y la tubería nos brinda un buen servicio al respecto, por otro lado, el agua llegara con presión y en dado caso de no tener la presión requerida por el sistema es favorable usar una moto bomba con el fin de impulsar el agua.



- ✓ **Las características propias del suelo como estructura, permeabilidad, capacidad de retención de agua y de penetración radicular:** La estructura del suelo influye en el movimiento del agua y la retención hídrica, el drenaje, la aireación, la penetración del agua hacia las raíces, el ciclo de nutrientes, y en consecuencia sobre el rendimiento de los cultivos por la forma estructural.
- ✓ **Es necesario también atender el suelo, la fertilización, el laboreo, y el control de malezas y de insectos para que el rendimiento del riego aumente significativamente:** La atención también será muy necesaria ya que si existe maleza el agua será absorbida por ella además que en el momento de aplicar fertilizantes la mayoría de ellos serán aprovechados por la maleza por ello es necesario realizar un buen labrado del cultivo para evitar dichos factores, por otro lado en las siembras donde se presentan plagas o gusanos el agua es un método de prevenir y mantener un control de los mismos ya que ella evita que las larvas puedan regenerarse. [17]

5.3.2 Implementar una red de sensores que permita medir la temperatura y humedad del suelo.

En el momento de tomar una decisión para realizar la compra de un sensor de humedad del suelo nos genera muchas dudas ya que no sabemos cuál será el adecuado para satisfacer nuestra necesidad dado a que existen numerosos modelos de analizadores de humedad en el mercado y por ello se hace tediosa la selección de dicho componente. Antes de elegir un sensor de humedad del suelo, debe tener en cuenta factores que contribuyen a aumentar el rendimiento de nuestro sistema, vida útil de nuestro dispositivo, costo, etc.

Cuando se elige un sensor de humedad del suelo, hay muchos factores que se deben tener en cuenta para que puedan aumentar la vida útil del producto y llevar a cabo un proyecto exitoso. Debemos ser conscientes de las condiciones ambientales del lugar en donde el sensor va a ser instalado esto nos ayuda a determinar las especificaciones correctas para el sensor de humedad.



5.3.2.1 *Seleccionar los tipos de sensores con mayor eficiencia para satisfacer la necesidad*

Para elegir nuestro sensor se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- ✓ El rango de humedad que necesitamos en nuestro cultivo teniendo en cuenta el clima y la altura donde se encuentra ubicado nuestro invernadero se realizaron un análisis donde se puede concluir que la humedad de suelo para largar una emergencia aceptable, debe rondar como mínimo un 20%, ya que si tenemos rango de humedad de suelo inferior al 20% la germinación no alcanza a germinar en un tiempo favorable y se pueden obtener perdidas en las semillas además de tener pérdidas de tiempo para la recolección de los productos, seguramente algunas plantas logran emerger en esos casos aunque no lograrán un crecimiento parejo, ni se puede garantizar que la vida de la planta sea la indicada.
- ✓ Cada fabricante utiliza su único elemento sensorial por ser una de las tecnologías más utilizadas es los sensores capacitivos. Estos sensores generalmente son más sensibles a los cambios de humedad, toleran bien los cambios de temperatura y brindan mediciones precisas a niveles bajos de humedad (<15% humedad relativa).
- ✓ Dependiendo del uso que se le vaya a dar a dicho sensor se debe tener en cuenta su precisión, por ejemplo, en entornos altamente controlados como laboratorios, hospitales y salas limpias, mantener una alta precisión es fundamental. En nuestro caso necesitamos un sensor capaz de arrojar datos con buena precisión, sin embargo, podemos optar por elegir uno que se ajuste a los presupuestos y que nos sea útil para nuestro sistema.
- ✓ La velocidad a la que el sensor procesa los datos facilita el muestreo, ya que el tiempo que transcurre entre el procesamiento y la visualización puede retrasar la toma de decisiones durante la producción. El tiempo de respuesta óptimo es instantáneo.



Esta es la razón por la que la velocidad de medición es tan importante. En cuanto a la velocidad de medición del sensor de humedad es un factor importante en la idoneidad del dispositivo. Cuanto más rápido sea el sensor, más precisa será la medición.

- ✓ Se debe considerar el ambiente donde se van a instalar los sensores dado a que en nuestro caso dichos sensores están expuestos a variables de temperatura y humedad por lo que pueden sufrir corrosión u otros tipos de afectaciones. Por este motivo se elige el sensor anticorrosivo el cual tiene mayor aceptación del ambiente. [18]

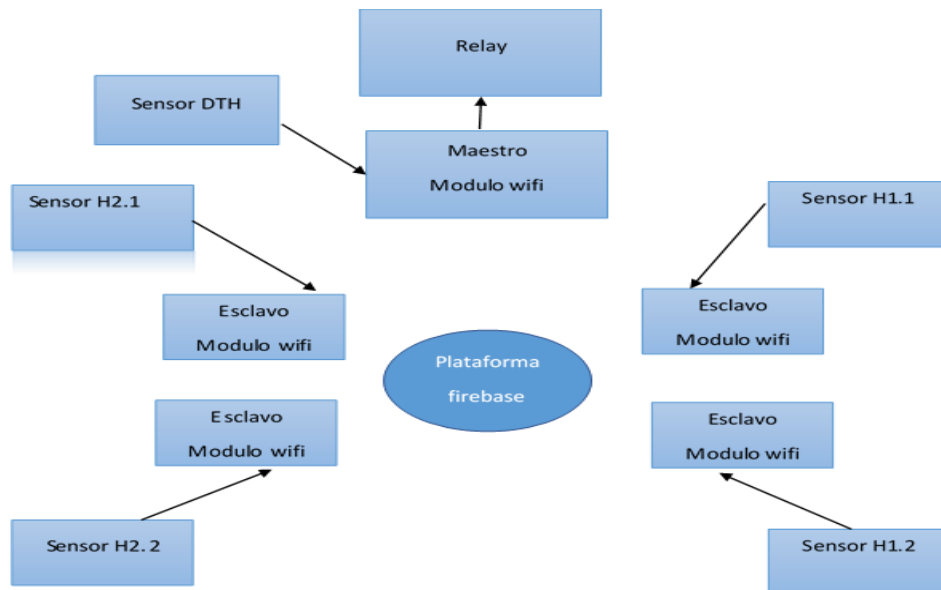
5.3.2.2 *Realizar un estudio del área donde se va realizar la implementación de la red.*

Teniendo en cuenta las necesidades presentes fue considerado el área que se va trabajar esto con el fin de poder determinar un punto específico para instalar nuestros sensores y dispositivos con el fin de tener un mayor rendimiento de nuestra red ya que dichos dispositivos deben estar interconectados entre sí, por ello se realizó la instalación de dos sensores de humedad del suelo por cada lateral, esto con el fin de poder determinar la humedad del suelo en dos puntos diferentes ya que la forma de drenaje del terreno puede tener variaciones dependiendo de sus características, además se instaló un Módulo Wifi Nodemcu v3 esp8266 - LOLIN CON CH340 por cada lateral, esto con el fin de realizar la comparación de los datos de humedad obtenidos por los dos sensores y transmitirlos a nuestro modulo maestro quien será el encargado de realizar la activación de nuestro sistema.



5.3.2.3 Implementar la red de sensores inalámbricos.

Ilustración 8. Red de sensores



Nota. Fuente del autor.

La implementación de nuestra red inalámbrica de sensores nos pudo ofrecer diferentes beneficios entre ellos una comunicación más persuasiva en cuanto a la transmisión de datos, además de la instalación ya que es mucho más fácil y ordenada esto dado a que no se necesita demasiado cableado, solo se tendría en cuenta las alimentaciones de nuestros módulos. Hay que tener en cuenta la profundidad de instalación del sensor esto depende de la longitud del electrodo y la orientación de la instalación.

Se realizó la implementación de una red de sensores inalámbricos interconectados haciendo uso de la plataforma digital firebase la cual está diseñada para facilitar el desarrollo de aplicaciones, en este caso nos muestra datos en tiempo real de lo que son las variables de temperatura y humedad del suelo con lo cual se crea una base de datos con el fin de tomar una decisión en el momento de realizar la activación de nuestro sistema de riego.

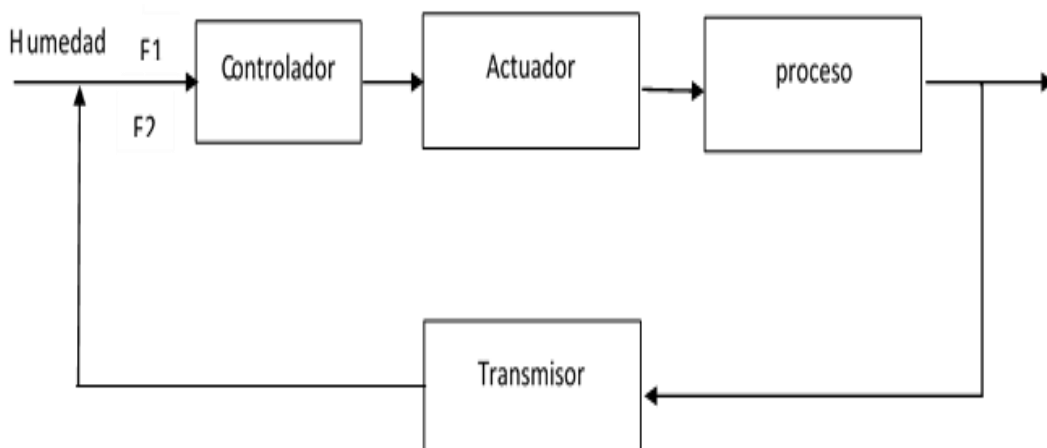


Cada uno de los sensores de humedad están conectados con un módulo wifi quien es el encargado de leer los datos para transmitirlos estos datos los podemos visualizar en la plataforma firebase, esta aplicación aparte de los datos suministraos por los sensores nos indica el estado de cada uno de ellos los cuales se van oscilando entre valores de 1 y 0 indicando la operatividad de los dispositivos. Los datos pasan al módulo wifi maestro quien lee los datos enviados por los módulos esclavos y dependiendo de dicha información este dispositivo tomará decisiones, si la humedad del suelo se encuentra inferior al 20% este dispositivo envía una señal al módulo rele quien realizará la activación de las electroválvulas para iniciar nuestro sistema de riego, este se mantendrá operativo hasta tener datos de humedad del suelo superiores al 30% quedando inactivo hasta volver a tener datos del 20%.

5.3.3 Implementar el sistema de control teniendo en cuenta las características de la parte lógica, cableada y tipo de red de sensores.

En base a los estudios realizados y teniendo en cuenta las características de nuestro sistema de riego se opta por utilizar un controlador ON/OFF a raíz del cambio en las variables que se desean controlar, en este caso la humedad del suelo. Esta humedad no tiene cambios frecuentes dado a la magnitud de que se está midiendo y es por ello que los cambios de humedad son lentamente.

Ilustración 9. Diagrama de bloques funcional



Nota. Fuente del autor.



La ilustración 9, nos hace referencia a lo siguiente:

- ✓ **Controlador:** El controlador es el encargado de analizar los datos y dependiendo de ellos cambiar de estado las electroválvulas.
- ✓ **Válvula:** La válvula solenoide o electroválvula es la encargada de permitir el flujo de o en caso contrario detenerlo dependiendo de la señal entregada por el controlador.
- ✓ **Proceso:** Se registran los datos de cada uno de los sensores lo cual realiza la comparación y se transmiten.
- ✓ **Transmisor:** La transmisión se realiza mediante una red inalámbrica siendo más viable siempre y cuando se mantenga una buena red de internet wifi.

Nuestro sistema se representa como un sistema en lazo cerrado dado a que el funcionamiento es retroalimentado con el fin de mantener una comunicación entre dispositivos para activar y desactivar nuestro sistema, el controlador recibe la información, la procesa y dependiendo de ella toma una decisión.

El sistema de control se encuentra ubicado junto a los actuadores con el fin de evitar pérdida de datos o caídas de tensión por las distancias, además tener una respuesta mucho más rápida del mismo para tener un buen comportamiento de los actuadores para el funcionamiento del sistema.

Este sistema recibe la información suministrada por los sensores donde dependiendo de la temperatura y humedad del suelo va tener un cambio de estado en el rele para poner en funcionamiento el sistema o en caso opuesto mantener el sistema sin funcionamiento mientras la humedad y temperatura cambia o mientras es requerido el riego.

Tomando en cuenta las condiciones del invernadero dado a que es un terreno que está sometido a maltrato como por ejemplo, labrado, siembre y manipulación del terreno además de los cambios frecuentes del clima las únicas conexiones que se podrían realizar serían de forma aérea donde podríamos tener pérdida de datos, se opta por una implementación inalámbrica ya que el invernadero cuenta con una red de wifi estable y con varios puntos de conexión eléctrica en zonas específicas del área por lo que se opta por realizar el sondeo en estos puntos



dado a que estos están distribuidos en una forma favorable para la ubicación de los sensores ya que se encuentran en puntos intermedios del invernadero siendo aceptables para la distribución de los sensores, además se le realizó un acople a los sensores para obtener un mayor alcance, esto nos sirve para tomar lectura de datos en diferentes puntos ya que tienen un alcance de 3 metros alrededor del módulo.

5.3.3.1 Realizar el análisis de los requerimientos del terreno y las necesidades de los usuarios.

Los invernaderos se utilizan para garantizar la producción y la calidad de los cultivos. En campo abierto es difícil mantener una cosecha perfecta durante todo el año. El concepto de cultivo en invernadero representa una transición de la producción desde el inicio de la plantación hasta la recolección.

Es fundamental tener una buena administración de agua con tal de obtener una mayor productividad y calidad en los frutos por lo que es ideal poder controlar la temperatura, la humedad, el flujo de aire, el agua y los fertilizantes, mantener los niveles de oxígeno cerca de las raíces y la salud de las plantas para garantizar el desarrollo de los cultivos es fundamental con el fin de obtener buenos resultados.

- ✓ **Disponibilidad y calidad del agua de riego:** Necesitamos embalses para emergencias y sequías. Los productores deben anticipar la cantidad de agua necesaria durante el crecimiento de las plantas y tener en cuenta los medios de conducción y distribución del agua por lo que se emplea el sistema con el cual se garantiza emplear el agua necesaria con el fin de optimizar y tener un uso eficiente del recurso hídrico.
- ✓ **Historial climático de la zona:** el invernadero se encuentra ubicado en una altura de 2586 metros sobre el nivel del mar lo cual presenta variedad de clima siendo normalmente un clima frío con veranos cortos cálidos y nublados donde el uso del sistema será indispensable ya que en estos periodos de tiempo el agua tiende a presentar escases mientras que en los inviernos suelen ser cortos, mojados, ventosos y mayormente

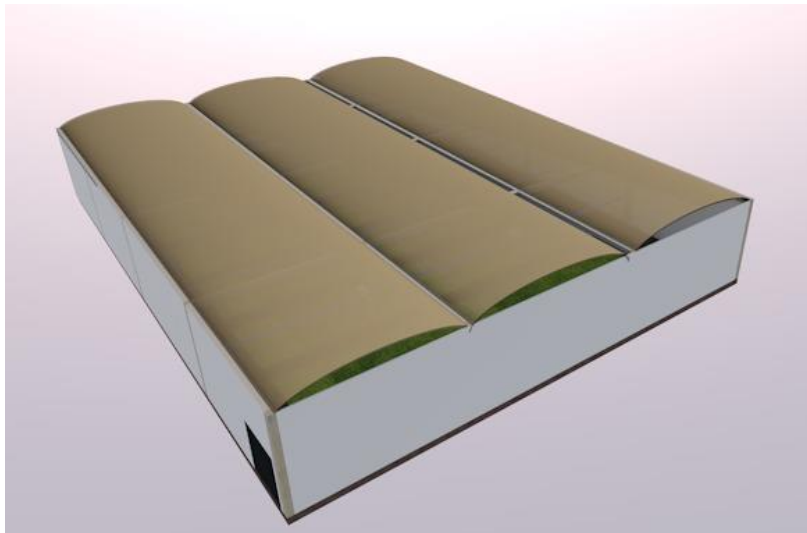


nublados, lo que ocasiona que los días ventosos resequen la tierra y sea necesario implementar el sistema.

- ✓ **Luminosidad:** el invernadero cuenta con una buena ubicación ya que no es limitado por ningún factor exterior.
- ✓ **Pendiente del terreno:** el terreno es plano por lo que el agua suele estancarse si no se tiene una correcta preparación del terreno.
- ✓ **Orientación:** Es importante orientar el invernadero en un ángulo de radiación o de norte a sur para dar a las plantas la máxima penetración de la luz y la mínima sombra durante todo el día. [19]

5.3.3.2 Diseño del sistema de riego automatizado

Ilustración 10. Diseño del invernadero



Nota. Fuente del autor.

Teniendo en cuenta las características del invernadero se realiza el diseño del mismo con el fin de tomar puntos específicos para la instalación de cada componente empleado en nuestro sistema de riego.



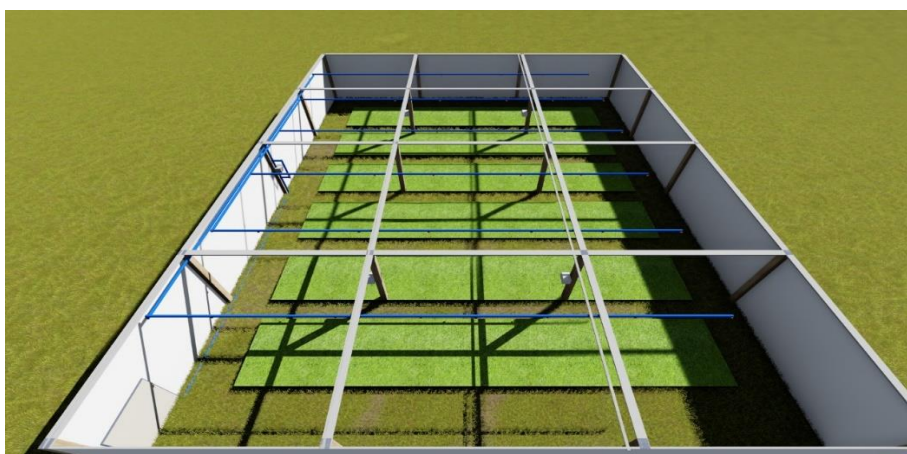
Ilustración 11. *Diseño de ubicación de los sensores*



Nota. Fuente del autor.

Los sensores son ubicados con la finalidad de tener información en puntos clave dentro del invernadero, por ello se eligen puntos centrales teniendo un enlace completo para la recopilación de datos de humedad, por otro lado, contamos con un sensor de temperatura quien nos entrega datos en tiempo real, este junto con los sensores de humedad son analizados con el fin de tomar una decisión para el funcionamiento del sistema.

Ilustración 12. *Diseño de la red de tuberías*

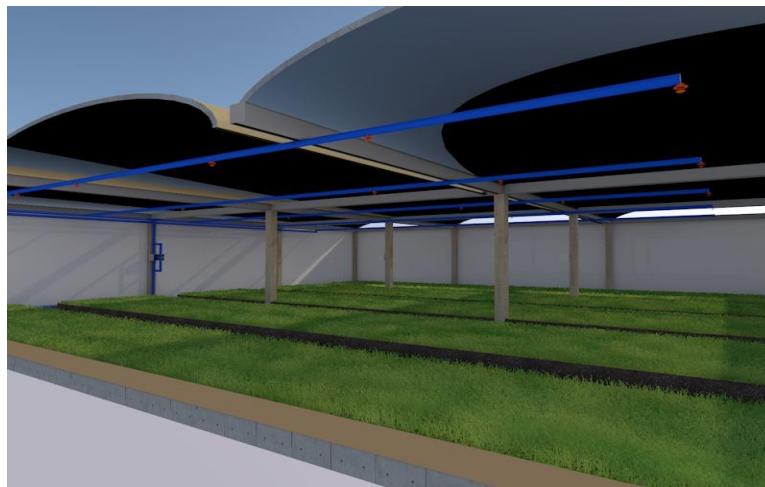


Nota. Fuente del autor.



Para la instalación de nuestra red de tuberías se toman medidas con el fin de realizar la instalación de tal forma que en el momento de realizar el acople de los aspersores pueda ser regada toda el área del invernadero, además de tener en cuenta el diseño del invernadero con el fin de que la red de tuberías quede bien acoplada para evitar daños en ella y que haya fugas de agua.

Ilustración 13. Diseño del acople de los aspersores



Nota. Fuente del autor.

Para el acople de los sensores se toman en cuenta la capacidad de cada uno de ellos y se realiza la instalación quedando toda el área del invernadero con sus instalaciones para realizar el riego del mismo.

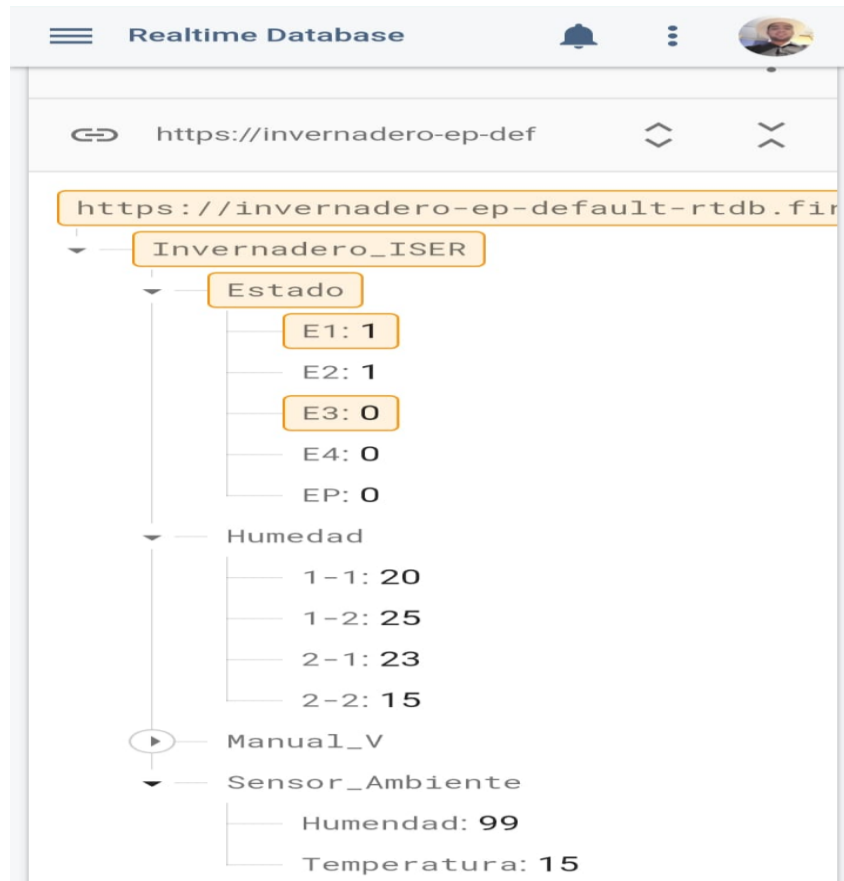
5.3.4 Validar el sistema de riego automatizado en cuanto a la optimización del uso del agua y la mejora en el nivel de productividad del cultivo.

Las evidencias tomadas para tener en consentimiento el funcionamiento de nuestro sistema se tuvieron en cuenta varios factores como la plataforma firebase, cálculos de consumo de agua en nuestro sistema actualmente respecto al riego anterior y se realizó un seguimiento físicamente del comportamiento del sistema.



5.3.4.1 Evidenciar el buen funcionamiento de los diversos módulos del sistema (fuente de alimentación, sensores, actuadores, comunicación, interfaces de usuario, etc.)

Ilustración 14. Plataforma firebase



Nota. Fuente del autor.

Con la plataforma firebase podemos realizarla validación del funcionamiento de los sensores tanto de humedad como el de temperatura ambiente, la comunicación y la interfaz de usuario que viene siendo dicha plataforma.

La interfaz nos muestra una variación de estado combinándose entre valores de 1 y 0 indicando que estos se encuentran en funcionamiento, además nos muestra los datos suministrados por los sensores los cuales a través de dicha plataforma nos permite la comunicación.



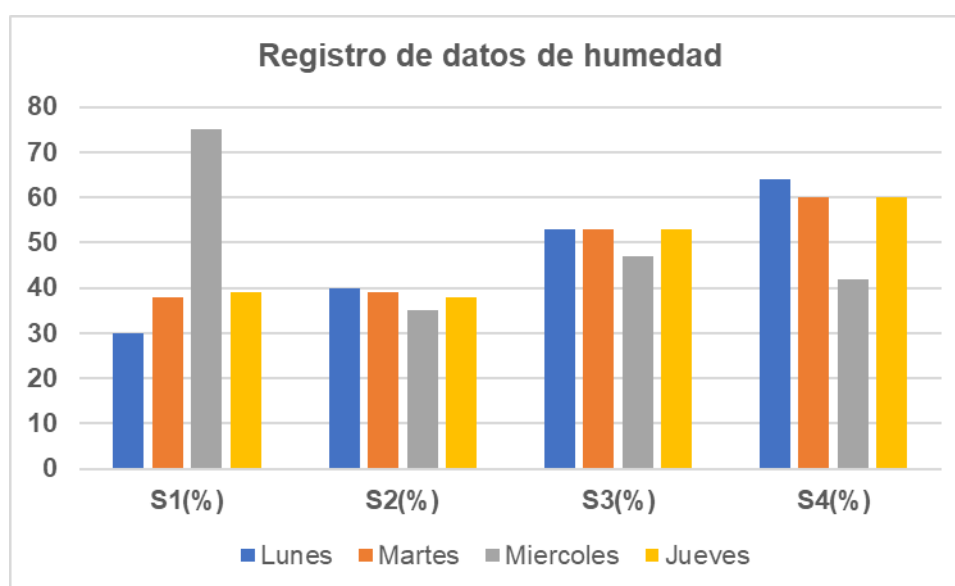
Tabla 9

Registro de datos de humedad

Registro de datos de humedad				
Humedad(días)	S1(%)	S2(%)	S3(%)	S4(%)
Lunes	30	40	53	64
Martes	38	39	53	60
Miércoles	75	35	47	42
Jueves	39	38	53	60

Nota. Fuente del autor.

Ilustración 15. Registro de datos de humedad



Nota. Fuente del autor.

Se realiza un registro de datos de humedad del suelo en diferentes días de la semana con el fin de poder determinar el porcentaje de humedad con la cual se pondrá en funcionamiento nuestro sistema de riego, sin embargo la semana registrada se presentaron lluvias frecuentes por lo que se registraron datos de humedad con porcentajes altos, por ende se toma la decisión de colocar un



rango para el funcionamiento de nuestro sistema el cual entrara en funcionamiento cuando la humedad del suelo sea inferior al 20% y será detenida cuando los sensores de humedad muestren porcentajes superiores al 35% . esta decisión se toma no solo con la determinación de los porcentajes de humedad analizados, también se tiene en cuenta investigación respecto a la humedad requerida por el suelo, este rango puede ser modificado dependiendo de la necesidad de cada cultivo. Sin embargo, el rango que se determinó para nuestro sistema es un rango intermedio donde la tierra se mantendrá en condiciones favorables para cultivar.

Ilustración 16. Actuadores “electroválvulas”



Nota. Fuente del autor.

Las electroválvulas o actuadores muestran buen rendimiento en cuanto a la programación, permitiendo la apertura y cierre del flujo de agua correctamente.

El controlador ON/OFF en las válvulas se simplifica por el modo de operación ya que son operadas por un resorte y electroimán el cual cambia de posición dependiendo de la alimentación de la válvula, si esta mantiene el circuito cerrado el resorte se encoje permitiendo el paso del flujo de agua, si se interrumpe la alimentación esta volverá al estado actual quedando cerrada.

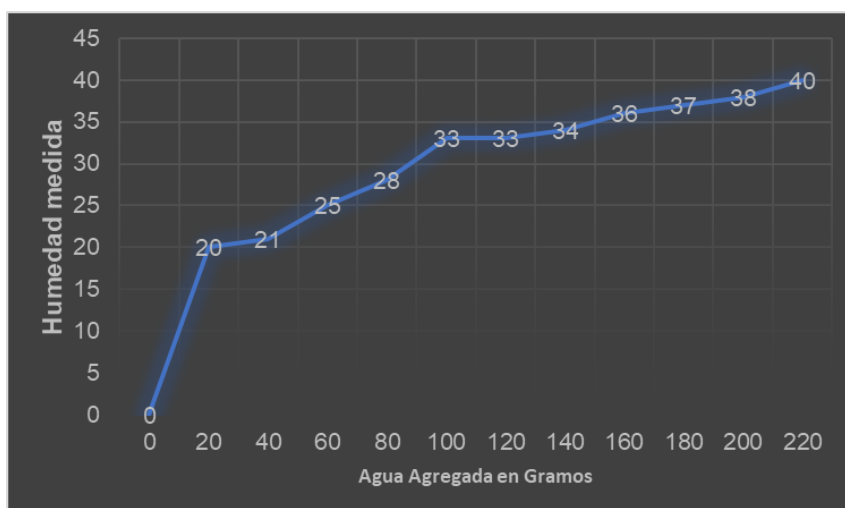


Tabla 10. Validación de Humedad

Agua agregada (gramos)	Humedad Medida	Peso Total
0	20	620
20	21	650
40	25	660
60	28	670
80	33	680
100	33	690
120	34	700
140	36	710
160	37	720
180	38	800
200	40	820
220	46	840

Nota. Fuente del autor.

Ilustración 14. Validación del comportamiento de la humedad



Nota. Fuente del autor.



La grafica consta de una muestra de tierra seca la cual tiene un peso de 620 gramos de tierra a la cual se le va agregando cada una hora 20 gramos de agua y se realiza la toma de estos resultados hasta saturar la muestra por completo, esto quiere decir que la muestra ya no puede absorber más agua.

5.3.4.2 *Evaluar el rendimiento del sistema durante un período de tiempo específico.*

Ilustración 17. Evidencia del riego



Nota. Fuente del autor.

Validación física de nuestro sistema donde se realizan pruebas de forma manual usando la plataforma y muestra un buen funcionamiento, además se evidencia el riego como se muestra en la ilustración 18, además se muestran evidencias físicas del sistema montado en el invernadero.



5.3.4.3 Determinar el rendimiento y la calidad alcanzados en la instalación del sistema de riego.

Calcular el caudal por el tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Datos	
α	19,05mm $\approx$ 0,01905m
Coeficiente de corrección	0,85

Ahora hallamos la velocidad del agua

$$V = d \cdot t$$

$$V = 7m * 3seg * 0,85$$

$$V = 17,85m/seg$$

Donde

d= distancia

α = diámetro

Por lo cual hallamos el área

$$A = \frac{\pi \cdot \alpha^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,01905m^2}{4}$$

$$A = 2,85 * 10^{-4}m$$

Calculamos el caudal(Q) en litros por segundo

$$Q = V * A$$

$$Q = \frac{17,85m}{seg} * 2,85 * 10^{-4}m$$



$$Q = 5,088m^3/seg$$

Pasamos los metros a litros, donde $1m^3$ equivale a 1000lt entonces

$$Q = 5,088 * \frac{10^{-3}m^3}{seg \left(\frac{1000lt}{1m^3} \right)}$$

$$Q = 5,0876 \approx \frac{5,09lt}{seg}$$

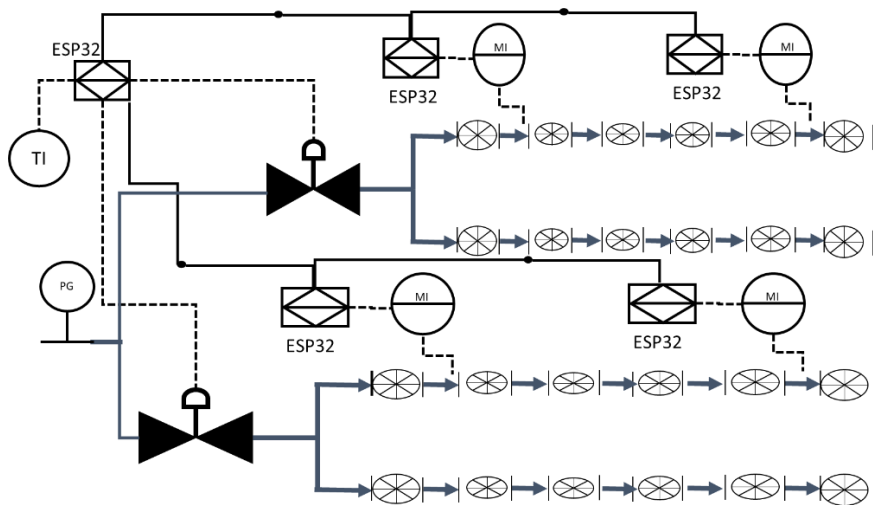
Si el sistema trabaja 1 minuto cada lateral gastaría 305,25lt/seg.



CAPITULO 3

6 RESULTADOS

Ilustración 15. Diagrama de tuberías e ilustración de invernadero P&ID



Nota. Fuente del autor.

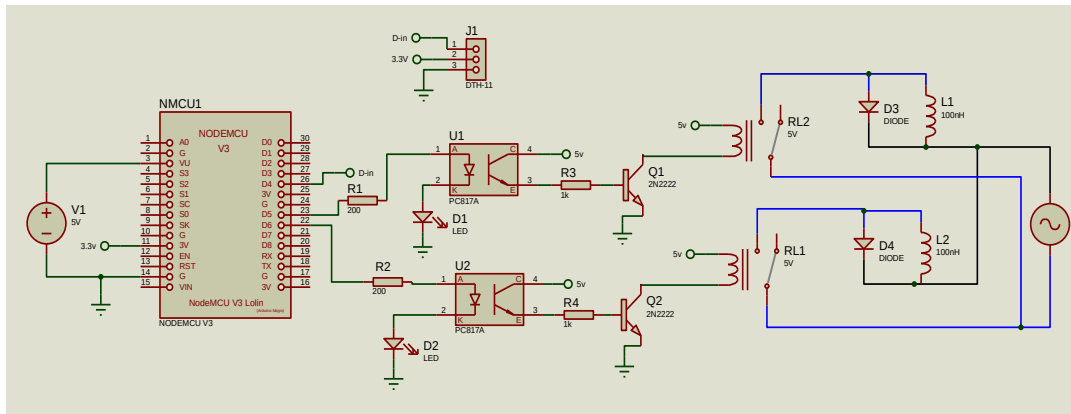
Se realiza un diagrama P&ID donde se representa nuestro sistema el cual cuenta con dos variables siendo estas la humedad del suelo y temperatura ambiente, estas recopilan una base de datos y la comunican con el ESP32 el cual analiza los datos y dependiendo de ellos manda una señal con la cual se realiza la activación de las electroválvulas para iniciar el sistema.

Con la automatización de este sistema se ve reflejada una disminución de mano de obra en el momento de ser requerido el riego dentro del invernadero.

La comunicación de los datos de forma inalámbrica resultó ser más eficiente en cuanto a la transmisión de estos; ya que no presentan pérdidas por resistencia y demás alteraciones que presentaría una instalación de forma cableada, además el sistema responde de forma efectiva puesto que nos garantiza un rango de humedad estable de tal forma que el terreno puede ser cultivado.



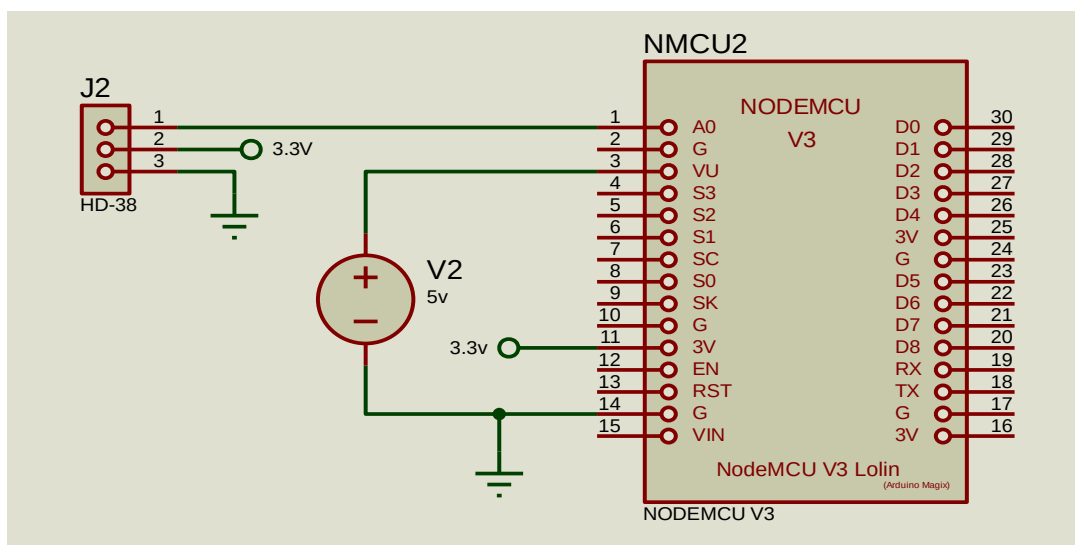
Ilustración 16. Diseño del circuito empleado



Nota. Fuente del autor.

Se realiza la conexión del módulo ESP32 en las terminales VU con el positivo y en G con el negativo, el sensor va conectado en sal asida analógica y a 3V, esta toma lectura de los datos y el módulo los comunica a través de la plataforma digital para quedar los distintos sensores interconectados, dependiendo de los datos el modulo manda una señal la cual realiza el Switcheo del rele quien permite el cierre del circuito para realizar la activación de la electroválvula y da inicio al sistema de riego.

Ilustración 17. Diseño del circuito empleado

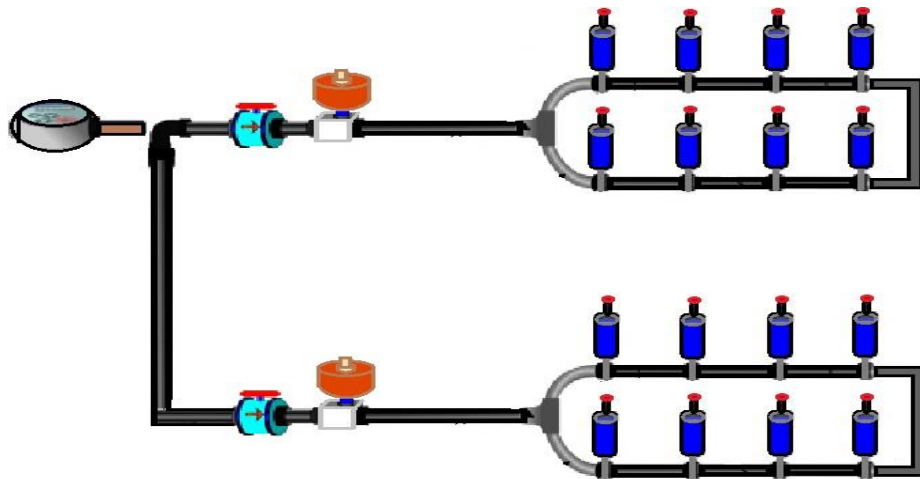


Nota. Fuente del autor.



Se realiza la conexión del módulo ESP32 en las terminales VU con el positivo y en G con el negativo, el sensor va conectado en sal asida analógica y a 3V, esta toma lectura de los datos y el modulo los comunica a través de la plataforma digital para quedar los distintos sensores interconectados.

Ilustración 18. Diseño de la red de tuberías

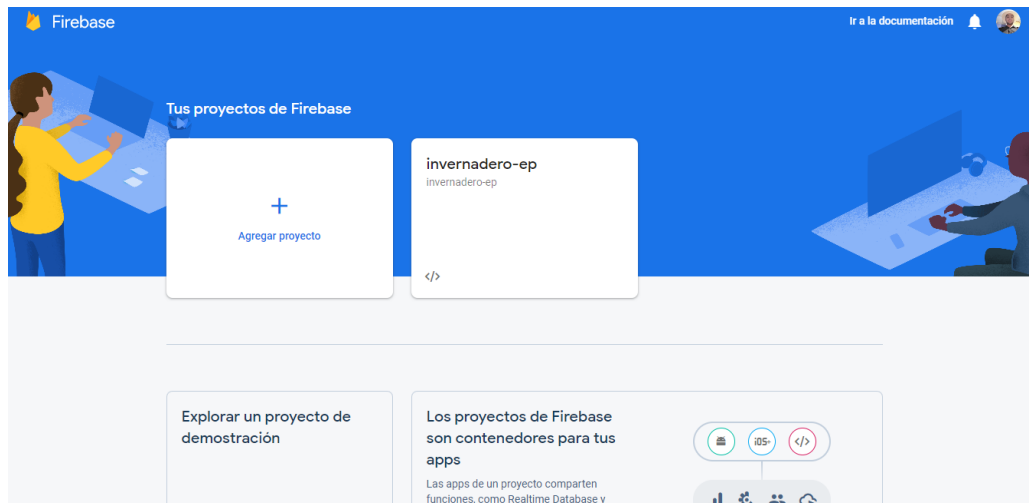


Nota. Fuente del autor.

La red de tuberías esta compuesta por dos laterales cada uno con 8 aspersores los cuales son activados cuando la electroválvula cambia de estado, esta electroválvula tiene como funcionalidad on-off, además cuenta con un manómetro el cual nos indica la presión de agua con la que el sistema se encuentra funcionando.



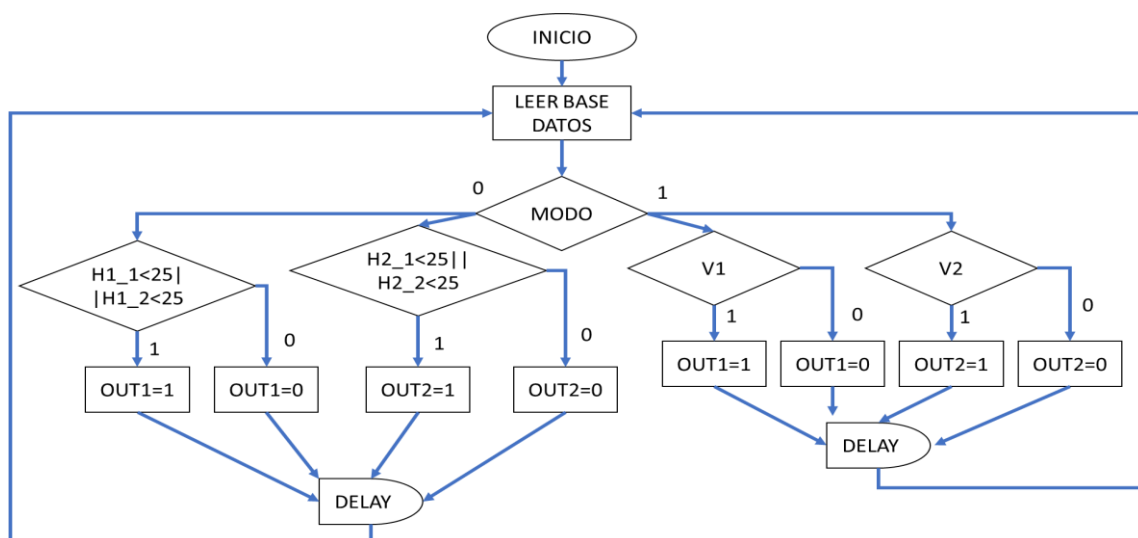
Ilustración 19. Plataforma digital firebase



Nota. Fuente del autor.

Para la comunicación y validación de los datos obtenidos por los sensores se le dio uso a la plataforma digital “firebase” la cual está diseñada para facilitar el desarrollo de aplicaciones web y móviles de calidad de una forma rápida y eficiente, con el objetivo de mejorar el rendimiento de las mismas a través de la implementación de sus distintos módulos que harán que la aplicación sea mucho más manejable.

Ilustración 20. Diagrama de flujo



Nota. Fuente del autor.



Se realiza una programación con el fin de tener dos estados; manual y automático, el estado lo podemos seleccionar desde la plataforma firebase.

Si elegimos la opción manual podemos activar o desactivar la electroválvula con solo cambiar el estado de ella, siendo la opción 1 para activar y la opción 0 para desactivar.

Si elegimos el modo automático nuestro modulo maestro lee los datos transmitidos por los sensores quienes conectan con un módulo esclavo para transmitir los datos y si tenemos una temperatura menor a 25° nuestro modulo manda un estado de 1 a la salida del ESP32 toma un Delay de 3 segundos y manda la señal a al módulo maestro quien toma un Delay y manda a la activación del rele. Si el estado enviado por el modulo esclavo es 0 nuestro sistema vuelve e inicia el proceso.



7 CONCLUSIONES

- ✓ Con la automatización del riego y el control de factores críticos se logró una reducción de consumo de agua del 25% ya que en el momento se tenían tres laterales donde uno de ellos no era requerido.
- ✓ Con la automatización del sistema se puede reducir el consumo de agua hasta unos 18.3 litros por minuto.
- ✓ El sistema diseñado e implementado cumple los requisitos para mantener un monitoreo en tiempo real de variables ambientales y el control de la humedad del suelo del invernadero, este monitoreo se logra gracias a los beneficios que nos brinda la plataforma digital firebase la cual está diseñada para facilitar el desarrollo de aplicaciones.
- ✓ Con este sistema se pudo reducir la mano de obra en cuanto a riego en el cultivo y se pretende llegar a implementar en cultivos más extensos con el fin de incentivar a los agricultores para que hagan uso de estos sistemas ya que les brindaría excelentes resultados.
- ✓ La comunicación inalámbrica resulta ser de menor costo que una instalación de red por cable, además de poder ser instalada en un tiempo relativamente corto y se evitan riesgos de accidentes que se pueden generar con una instalación por cable.



8 PRESUPUESTO

Tabla 11

Presupuesto

Nombre	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Bomba	1	\$ 259.000	\$ 259.000
Filtros	1	\$ 182.000	\$ 182.000
Manómetro	1	\$ 113.500	\$ 113.500
Red de tuberías	90	\$ 11.000	\$ 990.000
Aspersores	36	\$ 22.000	\$ 792.000
Modulo rele de 4 canales	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Modulo wifi	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Modulo sensor de humedad	4	\$ 40.000	\$ 160.000
Electroválvula	2	\$ 165.000	\$ 330.000
Utensilios varios		\$ 500.000	\$ 500.000
		Total	\$ 3.601.500

Nota. Fuente del autor.

En los utensilios varios tenemos relacionado cables de conexión, pegante para PVC, cajas de protección, acoples para unión de los tubos, cinta aislante, termo encogible, entre otros.



REFERENCIAS

- [1] B. Mundial, «El agua en la agricultura,» 2017.
[En línea].
Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.
- [2] R. L. Garcia, «RevistaTyca,» Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua,
04 12 2015. [En línea].
Available: <http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/530>.
[Último acceso: 02 11 2022].
- [3] M. Aguilar Rodriguez, «BUAP,» 04 2016. [En línea].
Available:
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/14976>.
- [4] A. B. M. A. C. G. Andres Felipe Calvo Salcedo,
«Diseño prototipo de una red de sensores inalambricos,»
Gale OneFile, vol. 12, nº 1, p. N/A, 2018.
- [5] N. S. Javier Gomez Wilches, «Universidad de Pamplona,»
Revista Unipamplona, p. 7, 2018.
- [6] F. F. G. V. V. M. G. G. c. F. J. Z. Maria Flores Medina,
«Monitoreo de Humedad en suelo a través de red inalambrica de sensores,
» *Red de revistas científicas de acceso abierto* , vol. 6, nº 5, pp. 75-88,2015
- [7] Agropinos , «Sistema de Riego por Aspersión,» 24 Marzo 2022. [En línea].
Available: <https://www.agropinos.com/blog/sistema-de-riego-por-aspersion>.



- [8] ALAR Control, «Riego Automatico,» ALAR (Fotografia), 2022.
[En línea]. Available:
<https://www.alarcontrol.com/es/riego-automatico/riego-agricola/aspersion-carros-riego>.
- [9] NIH, «Departamento de Salud y Servicios Humanos,
» National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, Abril 2022.
[En línea].
Available: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>.
- [10] Electronilab, «Sensor Antocorrosivo,» Laboratorio (Fotografia), 2022.
[En línea].
- [11] SS Dielect, «Tienda Virtual,» Catálogo, 2022. [En línea].
Available: <https://ssdielect.com/rele-relay-o-relevo/994-md-rele-4ch-opto.html>.
- [12] SS Dielect Electronica S.A.S, «Tienda Virtual,»
Dielect, 2022. [En línea]. Available:
<https://ssdielect.com/wifi-sistemas-de-desarrollo-esp8266-wifi/768-nodemcu-lolin-ch340.html>.
- [13] Ferretronica, «Tienda Virtual,» Ferretronica, 2022.
[En línea]. Available:
https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-humedad-del-suelo-resistente-a-corrosion?variant=31520327729245¤cy=COP&utm_



medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_
organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-10-
19&utm_source=g.

[14] Ferretronica, «Tienda Virtual,» Ferretronica, 2022.

[En línea]. Available:

https://ferretronica.com/products/electrovalvula-solenoide-12vdc-media-pulgada?_pos=2&_sid=c4fd6645c&_ss=r.

[15] Ferretronica, «Tienda Virtual,» Ferretronica (Fotografía), 2022.

[En línea]. Available:

https://ferretronica.com/products/electrovalvula-solenoide-12vdc-media-pulgada?_pos=2&_sid=c4fd6645c&_ss=r.

[16] ISSUU, «Coeficiente de Christiansen,» ISSUU, 2022. [En línea].

[17] Traxco, «Componentes para sistemas de riego,

» Tecnología del Riego, 20 Febrero 2013.

[En línea]. Available:

<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/condiciones-para-instalar-un-sistema-de-riego>.

[18] B. Hernandez, «IAASE,» Control de humedad en cuartos limpios,

22 Noviembre 2016. [En línea]. Available:

<https://iaase.com.mx/10-preguntas-que-debes-hacer-antes-de-elegir-un-sensor-de-humedad/>.

[19] D. R. Perez, «Hortalizas,» Horticultura Protegida, 22 Junio 2011.

[En línea]. Available:



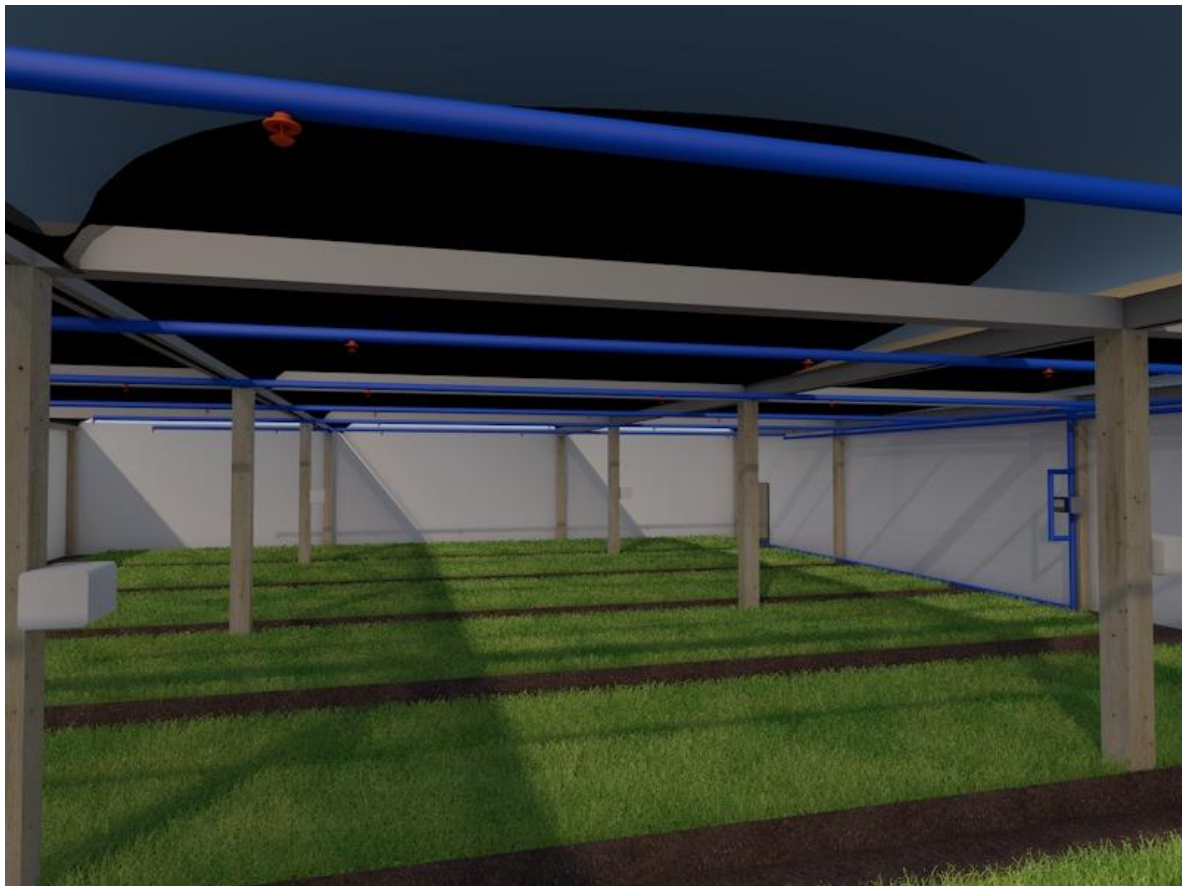
<https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/parametros-para-la-localizacion-y-construccion-de-un-invernadero/>.

[20]



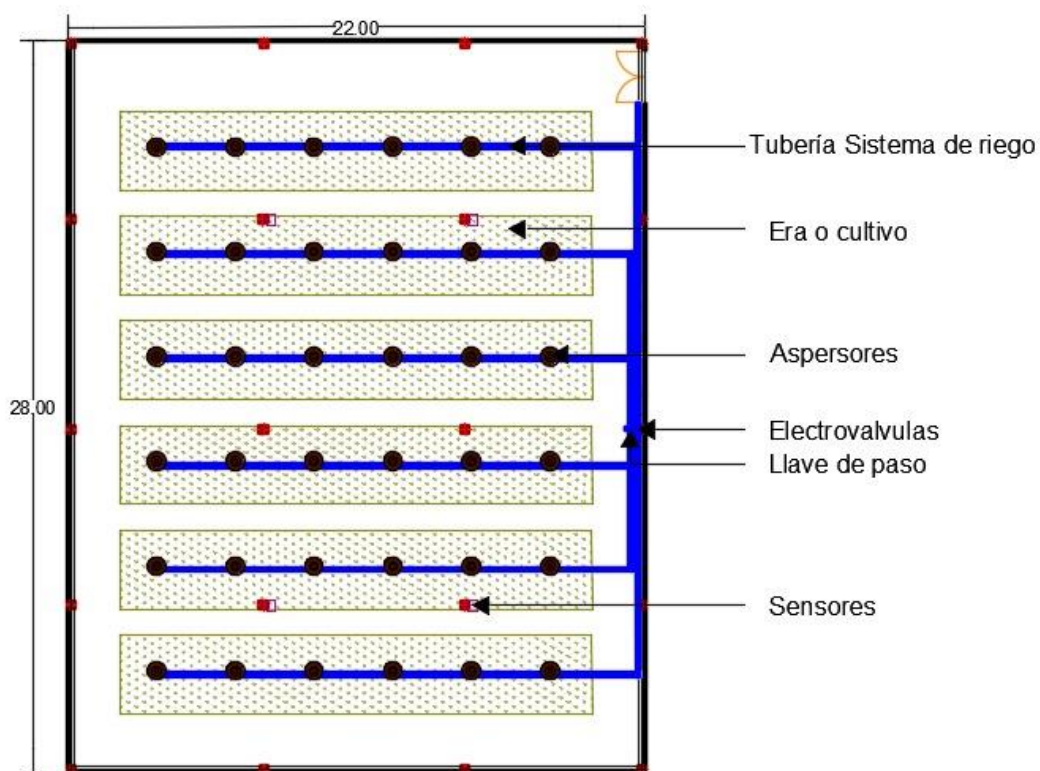
ANEXOS

Anexo A. Diseño del sistema de riego



SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO BASADO EN UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS DE UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA

Anexo B. Explicación de los componentes del sistema

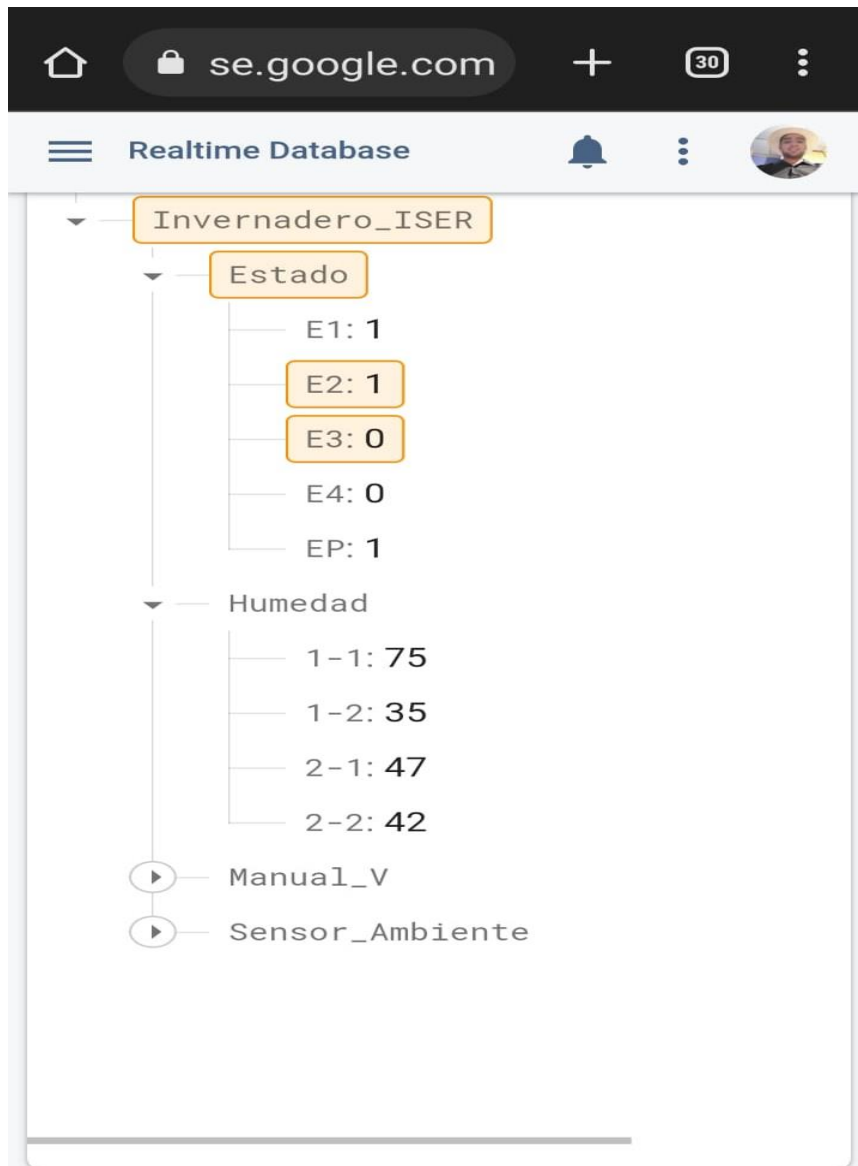


Anexo C. Red de tuberías y aspersores



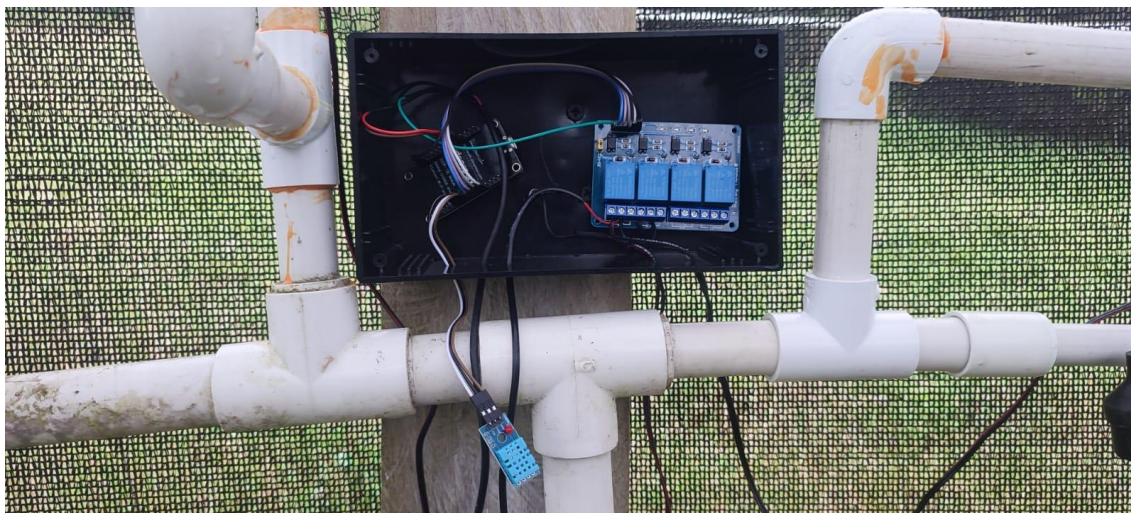
Autor: Eduar Felipe Pimiento Ruiz
Director: Diego Armando Mejía Bugallo

Anexo D. Datos vistos desde la plataforma firebase



SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO BASADO EN UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS DE UN INVERNADERO EN EL ISER MUNICIPIO DE PAMPLONA

Anexo E. Montaje del rele y modulo para la activación de la electroválvula



Anexo F. acople para activación manual del sistema



Anexo G. *Conexión del módulo ESP32*

