



FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

**Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente y
Monitoreo de Variables Edafológicas y Meteorológicas Activado por
IoT**

Realizado por:

María Alejandra Chugá Rosero

Director del proyecto:

M.Sc. Diego F. Bustamante V. Ing.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

QUITO, 18 de octubre del 2022

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, María Alejandra Chugá Rosero, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 0401746896, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



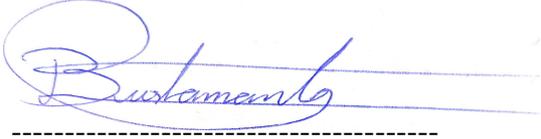
M. Alejandra Chugá R.

María Alejandra Chugá Rosero

C.I.: 0401746896

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



Diego Fernando Bustamante Villagómez

Máster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Alberto Aguirre Bravo

Jesús López Villada

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. Alberto Aguirre

Ing. Jesús López

Quito, 18 de octubre de 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



M. Alejandra Chugá R.

María Alejandra Chugá Rosero

C.I.: 0401746896

Dedicatoria

A la mujer que no se ha dejado vencer,

A la que va tras sus sueños,

A la que vence sus miedos,

A la que siempre va por más,

A la mujer que quiero llegar a ser.

Agradecimiento

El presente trabajo no se hubiera culminado sin la ayuda incondicional de mi familia, agradezco por todo su cariño, apoyo y amor que siempre me ha motivado para cumplir mis sueños, gracias por siempre sostenerme e impulsarme a ser cada día mejor.

Gracias a todos mis seres queridos por estar siempre a mi lado y aportar con su granito de arena para culminar esta etapa.

A la familia Cabascango Simbaña por abrirme las puertas de su casa y brindarme una mano para que este proyecto se llevara a cabo.

A mi tutor de tesis Diego Bustamante por guiarme a lo largo de este proceso de titulación.

Resumen

Este proyecto de titulación tiene como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema de riego inteligente mediante IoT para determinar el estrés hídrico y tiempos de irrigación para una aplicación de agricultura urbana.

En este prototipo se seleccionaron sensores de humedad y temperatura que se adaptaron a la aplicación escogida y de los cuales se obtuvo la información necesaria para realimentar al sistema en lazo cerrado. Esta información es recopilada por un módulo centralizador que se encarga de enviar esta información por protocolos de comunicación inalámbricos a una interfaz en la nube. Además, cuenta con un tanque de almacenamiento de agua a manera de reserva controlado por dos sensores de nivel que también envían información de monitoreo.

Toda la información recopilada es visualizada en una aplicación en la nube desarrollada en ThingSpeak desde la cual el usuario final puede acceder de manera remota y sobre la cual puede activar/desactivar manualmente el sistema de riego. Esta aplicación permite almacenar la información adquirida y descargarla para realizar un análisis posterior del comportamiento del cultivo.

Los resultados obtenidos de este proyecto pudieron ser validados con la comparación entre un cultivo con el sistema de riego inteligente y otro que fue regado de manera tradicional utilizando variables estadísticas llegando a concluir que el sistema instalado aumenta índices de productividad y mejor aprovechamiento de los recursos en un porcentaje aproximado del 54%.

Palabras clave: Internet de las cosas, Protocolo MQTT, Protocolo HTTPS, Control en lazo cerrado, Aplicación en la nube, Servidor de datos.

Abstract

The main objective of this degree Project is the design and implementation of an intelligent irrigation system using IoT to determine water stress and irrigation times for an urban agriculture application.

In this prototype, humidity and temperature sensors were selected that were adapted to the chosen application and from which the necessary information was obtained to feed back to the closed loop system. This information is collected by a centralizing module that is responsible for sending this information by wireless communication protocols to an interface in the cloud. In addition, it has a water storage tank as a reserve controlled by two level sensors that also send monitoring information.

All the information collected is visualized in a cloud application developed in ThingSpeak from which the end user can access remotely and on which he can manually activate/deactivate the irrigation system. This application allows to store the acquired information and download it to perform a subsequent analysis of the crop behavior.

The results obtained from this project could be validated with the comparison between a crop with intelligent irrigation system and another that was irrigated in a traditional way, concluding that the installed system increases productivity rates and better use of resources.

Key words: Internet of things, MQTT protocol, HTTPS protocol, Closed loop control, Cloud application, Data server.

Índice de contenido

Portada.....	1
Declaración Juramentada	2
Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
Resumen.....	5
Abstract	6
Índice de contenido	7
Índice de tablas y figuras.....	11
Tablas	11
Figuras	12
Capítulo 1	15
Introducción	15
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Justificación.....	17
Marco teórico	19
Internet de las cosas.....	19
Sistemas IoT en la agricultura	20
Sistema de riego	21
Agricultura Urbana.....	22

Balance hídrico.....	22
Sensores de temperatura y humedad	23
Sistema de adquisición de datos	26
Almacenamiento en la nube	26
Plataforma ThingSpeak	26
Metodología	28
Estudio del cultivo.....	28
Localización y área del cultivo.....	28
Sensores de humedad y temperatura	29
Sensor de temperatura y humedad DHT22	30
Sensor de temperatura y humedad SHT10	30
Microcontrolador ESP32.....	30
Electroválvula.....	31
Arquitectura del sistema.....	32
Módulo del cultivo	32
Módulo del Riego.....	33
Módulo Centralizador.....	38
Algoritmo de funcionamiento del Módulo Centralizador	40
Aplicación de Usuario en la Nube.....	44
Desarrollo de la aplicación en ThingSpeak.....	44
Almacenamiento de información	49

Aplicación para dispositivos móviles.....	49
Diseño y Construcción de Tarjeta PCB.....	53
Montaje del Sistema de Riego.....	54
Montaje del sistema de tuberías	54
Construcción del tanque almacenador de agua	55
Construcción y montaje de caja metálica	57
Instalación del prototipo	58
Resultado.....	63
Pruebas del Prototipo	63
Pruebas de lectura del sensor DHT22	63
Pruebas de lectura del sensor SHT10	64
Pruebas de lectura de sensores de nivel.....	64
Prueba de activación y desactivación de electroválvulas	67
Prueba de funcionamiento del sistema integrado	70
Pruebas de comunicación con la aplicación ThingSpeak.....	72
Costos del sistema de Riego.....	74
Costos del sistema de riego por goteo	74
Discusión.....	77
Conclusiones	83
Recomendaciones.....	84
Futuros trabajos	84

	10
Bibliografía	85
Anexos	89
Anexo A	89
Anexo B.....	90
Anexo C.....	91
Anexo D	95
Anexo E.....	96
E1: Hoja de datos ESP32.....	96
E2: Hoja de datos DHT22	99
E3: Hoja de datos SHT10.....	100
E4: Hoja de datos relés 12Vdc	101

Índice de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 Características del rábano	28
Tabla 2 Características de la electroválvula.....	31
Tabla 3 Características del gotero ajustable.....	37
Tabla 4 Consumo de corriente de los componentes del sistema de riego.....	39
Tabla 5 Campos de Información en ThingSpeak.....	45
Tabla 6 Componentes de la aplicación desarrollada en ThingSpeak.....	47
Tabla 7Borneras de conexión de la placa PCB	54
Tabla 8 Datos obtenidos de la prueba efectuada a los sensores de nivel del tanque....	65
Tabla 9 Datos obtenidos de las pruebas efectuadas a las electroválvulas.....	68
Tabla 10Datos obtenidos de las pruebas efectuadas al sistema integrado.	72
Tabla 11 Costo de elementos utilizados para la construcción del proyecto.....	75
Tabla 12 Datos de dimensiones y peso de muestra de rábanos sin sistema de riego...80	
Tabla 13Datos de dimensiones y peso de muestra de rábanos con sistema de riego...80	
Tabla 14 Resultados obtenidos en el software IBM SPSS Statistics	81

Figuras

Figura 1 Arquitectura de IoT con ThingSpeak	27
Figura 2 Rábanos	28
Figura 3 Localización del terreno del cultivo	29
Figura 4 Sensor DHT22	30
Figura 5 Sensor SHT10.....	30
Figura 6 Tarjeta ESP32	31
Figura 7 Electroválvula de 12Vdc.....	32
Figura 8 Esquema del sistema de riego inteligente.....	32
Figura 9 Esquema del módulo del cultivo	33
Figura 10 Esquema del Módulo del Cultivo	34
Figura 11 Sensor de nivel de agua ZPC1 de tipo flotador	35
Figura 12 Módulo de 2 Relés 5Vdc	36
Figura 13 Distribución del sistema de riego para el cultivo de rábanos	37
Figura 14 Gotero ajustable 70l/h.....	37
Figura 15 Distribución de componentes Módulo Centralizador	39
Figura 16 Diagrama de flujo del programa principal del sistema de riego.....	41
Figura 17 Lazo de control del sistema de riego	42
Figura 18 Diagrama de flujo del control de llenado del tanque.....	43
Figura 19 Pantalla principal de la aplicación desarrollada en ThingSpeak	46
Figura 20 URL de activación manual del sistema de riego	48
Figura 21 URL de desactivación manual del sistema de riego	49
Figura 22 Pestaña de descarga de archivo de almacenamiento de datos.	49
Figura 23 Pantalla de visualización de información en aplicación Thingview.....	51
Figura 24 Pantalla de visualización de información en aplicación Thingview.....	52

Figura 25 Placa PCB del módulo centralizador	53
Figura 26 Tuberías de distribución de agua del sistema de riego	54
Figura 27 Construcción del tanque almacenador	55
Figura 28 Instalación de válvula de ingreso de agua al tanque almacenador	56
Figura 29 Instalación de los sensores de nivel de agua del tanque almacenador.....	57
Figura 30 Caja metálica de doble fondo.	57
Figura 31 Contenido de la caja metálica.	58
Figura 32 Instalación del tanque almacenador de agua.	59
Figura 33 Instalación de la caja metálica en sitio.	60
Figura 34 Conexión interna de los dispositivos del módulo centralizador.	60
Figura 35 Áreas de cultivo con sistema de riego y sin sistema de riego.....	61
Figura 36 Instalación del prototipo.	62
Figura 37 Prueba de medición de temperatura y humedad del sensor DHT22.....	63
Figura 38 Prueba de medición de temperatura y humedad del sensor SHT10.	64
Figura 39 Prueba realizada al sensor de nivel alto para el tanque.	66
Figura 40 Prueba realizada al sensor de nivel bajo del tanque.	67
Figura 41 Prueba de estado de la electroválvula de entrada de agua al tanque	69
Figura 42 Prueba de estado de la electroválvula de salida de agua del tanque.....	70
Figura 43 Prueba de funcionamiento del sistema integrado.	71
Figura 44 Visualización de datos en ThingSpeak	73
Figura 45 Visualización de datos en puerto serial de la ESP32.....	74
Figura 46 Prueba de comunicación desde ThingSpeak hacia la ESP32.	74
Figura 47 Evolución del cultivo a los 15 días.....	77
Figura 48 Evolución del cultivo a los 28 días.....	77
Figura 49 Evolución del cultivo a los 35 días.....	78

Figura 50 Rábanos cosechados.	79
Figura 51 Muestra de rábanos para realizar comparativas métricas.	80

Capítulo 1

Introducción

En el Ecuador el sector agrícola es considerado como el cuarto sector más importante ya que su aporte al PIB es del 9.63%, sin embargo, en este sector aún se utilizan en su mayoría procedimientos manuales, es decir que los avances tecnológicos aún no han sido aprovechados para mejorar la producción de este sector. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020)

Entre las principales causas del escaso uso de la tecnología se pueden mencionar: el alto costo que significa la implementación de estas tecnologías ya que en su mayoría han sido diseñadas para aplicaciones de gran escala y no para pequeños, medianos productores y para aplicaciones urbanas y la segunda causa es el desconocimiento de este tipo de tecnologías y el impacto positivo que generan al ser implementadas.

De acuerdo con la información recopilada entre los años 2014-2018 se tiene que anualmente se pierden en promedio 150.542,20 hectáreas de cultivos en el Ecuador. Entre las principales razones de estas pérdidas se encuentran: mal manejo del suelo, plagas, enfermedades, sequías, heladas, inundaciones, entre otras razones. (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020)

En países desarrollados los procesos que se llevan a cabo en el sector agrícola van de la mano con los avances tecnológicos que aparecen día a día, es por esta razón que desde los pequeños productores forman ya parte de la 4ta revolución industrial la cual consiste en un sistema interconectado con la plataforma de internet, que es capaz de obtener información y mostrarla a un usuario final como también enviar información desde el usuario final hacia los actuadores que se encuentren en el proceso. La industria 4.0 se caracteriza por manejar una gran cantidad de información y tener acceso a ella desde cualquier lugar del mundo solo con poseer acceso a internet. (Bárbara, 2016)

En el Ecuador la mayoría de las industrias apenas se encuentran en la 2da revolución industrial es decir que nos encontramos a más de 20 años de diferencia tecnológica de los países desarrollados. Sin embargo, en el resto del mundo se desarrollan cada día nuevas aplicaciones tecnológicas para los distintos sectores industriales.

Las tecnologías que la industria 4.0 ofrece van relacionadas con mejorar procesos para obtener resultados óptimos con la menor cantidad de pérdidas posibles, además de que estas tecnologías permiten el almacenamiento de información para su posterior análisis y toma de acciones. Se basan en la interacción que el ser humano debe de tener con los procesos que se llevan a cabo en el campo, sin la necesidad de que un operador se encuentre de manera física para la toma de cierta información. Es por esto que se crean tecnologías que abarcan desde la etapa de adquisición de datos hasta la etapa de presentación de esta información para el análisis y toma de decisiones. (Verónica, 2014). En la etapa de adquisición de datos es necesario el uso de sensores que permitan obtener la información adecuada para capa aplicación, luego esta información debe ser centralizada y almacenada en una base de datos a la cual podamos acceder de manera remota. Esta información requiere de un tratamiento que permita presentarle al usuario final de una manera amigable y fácil de comprender, esto se lo logra mediante el uso de pantallas de visualización que pueden ser instaladas en una computadora o desde un teléfono móvil. Por último, en base a la información adquirida se deben de ejecutar acciones que permitan mejorar el proceso ya sea con disminución de tiempos, mejor aprovechamiento de recursos o de manera general elevando el proceso a una nueva era de industrialización impactando en la economía y también al medio ambiente. (García, y otros, 2019)

En base a la información antes mencionada se propone una solución al mal manejo del suelo de determinado cultivo mediante el uso de tecnologías I4.0. Esta solución pretende diseñar un sistema de adquisición de datos relevantes para el manejo adecuado del suelo, mostrar la información adquirida en una interfaz amigable con el usuario y a su vez almacenar

esta información en una base de datos, todo esto con el fin de crear un sistema de riego inteligente que aproveche de mejor manera los recursos y aumente la calidad y producción del cultivo.

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de riego inteligente mediante IoT para determinar el estrés hídrico y tiempos de irrigación.

Objetivos Específicos

Investigar y seleccionar los sensores de temperatura y humedad que mejor se adapten al tipo de cultivo del cual se van a obtener las mediciones.

Diseñar e implementar una red de sensores que permitan obtener información del cultivo y sea enviada por medio de comunicación inalámbrica a un dispositivo central.

Diseñar e implementar un sistema de recopilación de datos central que obtenga información de los sensores mediante un protocolo de comunicación inalámbrico y la almacene en una aplicación en la nube.

Diseñar e implementar un sistema de riego inteligente basado en la información adquirida de los sensores para comandar los actuadores instalados en campo.

Investigar e implementar una aplicación amigable con el usuario que permita realizar las funciones de monitoreo de las variables adquiridas y permita realizar el control del riego.

Ejecutar pruebas de funcionamiento y presentar resultados.

Justificación

En un mundo donde el aumento de la población es considerado un problema global debido a que trae consigo múltiples problemáticas, se ha visto la necesidad de crear soluciones que vayan de la mano con el avance tecnológico. El concepto de agricultura urbana se incorpora como solución a varias de estas problemáticas como son la escasez de alimentos en varios

sectores y también un punto de partida hacia una agricultura más limpia y consiente con el medio ambiente.

El Ecuador a pesar de ser considerado un país rico en suelos y cultivos ha venido sufriendo de varias crisis alimentarias que han afectado a cientos de familias que han buscado cubrir estas necesidades con la producción de sus propios alimentos utilizando técnicas ancestrales, es decir sin ninguna clase de tecnología que les ayude a mejorar esta producción. (Muñoz, 2011).

El tema medio ambiental es considerado como uno de los aspectos más importantes en la actualidad ya que el deterioro de nuestro planeta es un tema que se evidencia a diario, es por esta razón que la agricultura ha buscado maneras para reducir este impacto. La agricultura urbana no solo tiene como objetivo la producción de alimentos para familias que poseen necesidades alimentarias, sino que también es considerada como una agricultura verde que pretende aprovechar espacios en viviendas para la producción de sus propios alimentos y así disminuir la contaminación que las grandes productoras originan.

En 1965 en Israel se crea una empresa dedicada al diseño y fabricación de sistemas de riego inteligente cuyo principal objetivo fue disminuir el consumo del recurso hídrico en los riegos debido a la escasez de agua que existe en ese país (Hernández C. , 2019). Esta empresa llamada Netafim se encuentra ya ubicada en 30 países y con productos vendidos a más de 100 países en su mayoría tratándose de países de primer mundo (NETAFIM, 2022). Esto nos da una idea de que combinar la agricultura con la tecnología posee múltiples beneficios que ya se han evidenciado en grandes países, sin embargo, en el Ecuador estas aplicaciones se han visto retrasadas por la falta de desarrollo tecnológico y de conocimiento referente a las ventajas que trae aplicar este tipo de sistemas.

Es por esta razón que se plantea una solución para el mejor aprovechamiento del suelo de determinado cultivo mediante el uso de tecnologías IoT. Esta solución pretende diseñar un

sistema de adquisición de datos relevantes para el manejo adecuado del suelo, mostrar la información adquirida en una interfaz amigable con el usuario y a su vez almacenar esta información en una base de datos, todo esto con el fin de crear un sistema de riego inteligente que aproveche de mejor manera los recursos, aumente la calidad y producción del cultivo y sea considerado como un sistema que disminuya la escasez alimentaria en varias regiones del país.

Marco teórico

Internet de las cosas

El internet de las cosas o más conocido por sus siglas en inglés IoT (Internet of things) nace de la idea de tener un mundo interconectado en donde cada objeto posea una conexión con el internet. Esta interconexión permite intercambiar información desde el lugar donde se encuentra instalado el objeto hacia donde el ser humano pueda visualizar dicha información y de esta manera eliminar la barrera física que limitaba a que las personas debían de encontrarse en el mismo sitio para observar dichos parámetros. Sin embargo, esta tecnología no lo solo se caracteriza por trabajar de manera unidireccional, sino que también permite enviar información desde el usuario hacia el lugar donde se encuentran instalados actuadores, es decir que permite también realizar un control de determinada aplicación y todo esto con el uso del internet para el intercambio de información. (Vera & Guedea, 2020)

Un sistema basado en IoT debe de poseer al menos los siguientes componentes para cumplir con su propósito:

- **Sensores:** son los dispositivos que encargan de tomar información de determinado sitio o variable.
- **Actuadores:** son los dispositivos sobre los cuales se tiene control y cuyo accionamiento da como resultado un cambio en el mundo físico.
- **Controlador:** es el dispositivo central que permite la conexión de los objetos de campo (sensores y actuadores) con el software.

- Red de comunicación: determina la manera en la que se va a realizar el intercambio de información mediante el uso de protocolos que brinden seguridad a dicho intercambio.
- Base de datos: es un sitio electrónico en el cual se puede almacenar y organizar información y al que se puede acceder desde cualquier sitio mediante un lenguaje de consulta.
- Aplicación de monitoreo y control: es un software que permite interactuar con el usuario final en el cual se presenta la información obtenida por los sensores y desde donde se pueden ejecutar acciones que activaran o desactivaran los actuadores.

El diseño de un sistema basado en IoT va directamente de la mano con las características de la aplicación a la cual se quiera implementar esta tecnología.

Sistemas IoT en la agricultura

Dentro del sector agrícola el Internet de las Cosas se ha ido incluyendo en base a las necesidades del sector y los avances tecnológicos llegando así a caracterizarse por su modelo de 3 capas:

- Capa de percepción: también conocida como capa de captura, dentro de esta podemos encontrar todos los elementos de software y hardware que permiten implementar la tecnología del internet de las cosas como lo son: sensores, actuadores, microcontroladores, microprocesadores y sistemas de monitoreo como lo son aplicaciones en la nube o aplicaciones locales.
- Capa de red: en esta capa se realiza el intercambio de información entre los elementos que se encuentran dentro de la capa de percepción, en esta capa se implementan protocolos de comunicación que permiten el intercambio correcto y seguro de la información dentro del proceso.

- Capa de aplicación: dentro de esta capa se encuentran los algoritmos que van a permitir accionar los actuadores instalados en los cultivos en base a los objetivos con los cuales se haya diseñado el sistema. (Tovar, Solórzano, Badillo, & Rodríguez, 2019)

Sistema de riego

El sistema de riego se encarga de brindar la cantidad suficiente de agua a la planta para su correcto crecimiento. Este sistema busca cumplir con los requerimientos de humedad y temperatura que determinado cultivo necesita y está formado por los siguientes componentes:

- Cabezal de riego: en esta parte del sistema se encuentra la fuente que se encargara de impulsar el agua la cual debe de estar configurada a determinada presión y caudal. En muchos casos se tiene una unidad de filtrado y también de fertilización lo cual va a depender de la aplicación.
- Red de conducción y distribución: en esta sección encontramos los canales que se instalan junto a los cultivos por donde va a circular el agua. Es importante seleccionar el material adecuado de los conductores principalmente en relación al lugar donde van a ser instalados.
- Emisores: en esta última parte encontramos los dispositivos que se encargan de la salida de agua hacia los cultivos los mismos que se encuentran instalados como punto final de la red de conducción. Existen diferentes tipos de emisores que van a ser seleccionados de acuerdo al tipo de cultivo que vaya a ser regado.
- Sensores: en un sistema de riego controlado lo sensores serán los encargados de la adquisición de datos del cultivo y en base a los cuales se accionará o no el cabezal de riego. (Demin, 2014)

Agricultura Urbana

El termino de agricultura urbana hace referencia a un área pequeña que puede ser un patio, terraza o huerto que se encuentre ubicado en una ciudad y cuya finalidad de cultivo sea para consumo interno o para venta en mercados cercanos. Este concepto se da lugar como alternativa al cultivo rural logrando así contribuir con el medio ambiente y reducir la contaminación que las grandes empresas generan al realizar agricultura comercial. Además, es considerada como una solución a la falta de alimentos que muchas poblaciones poseen ya que de esta manera se puede implementar un sistema de autogeneración de sus alimentos. (Méndez, Ramírez, & Alzate, 2005)

Balance hídrico

Este término hace relación a la cantidad de agua que absorbe un sistema con la cantidad de agua que sale de este. En la ecuación 1 y 2 se obtiene que el agua que se encuentra en la raíz de un cultivo no es más que la diferencia entre la cantidad de agua que ingresa al cultivo sea está causada por riego, lluvia o ascenso capilar, de la cantidad de agua de salida que puede ser causada por la transpiración de la planta, evaporización, percolación profunda o escurrimiento de agua. (Lozoya, 2022)

$$\theta(t) = \textit{Agua que ingresa al cultivo} - \textit{Agua de salida del cultivo} \quad (1)$$

$$\theta(t) = IR(t) + RF(t) + CR(t) - ETc(t) - DP(t) - RO(t) \quad (2)$$

Donde:

θ = cantidad de agua presente en la raiz del cultivo

IR = riego efectivo

RF = lluvia o precipitación efectiva

CR = ascenso de agua por capilaridad

ETc = Evapotranspiración del cultivo

DP = flujo de agua que se filtra a partes subterráneas

*RO = flujo de agua que corre superficialmente o que se
escurre fuera de la zona de riego*

Para el caso del cultivo que se va a utilizar en este proyecto se tiene una precipitación efectiva de cero, un ascenso de agua por capilaridad de cero ya que no existen fuentes por debajo del suelo y RO igual a cero ya que se considera una superficie plana que no posee escurrimiento de agua. (Lozoya, 2022)

En base a los parámetros antes mencionados se tiene la ecuación 3 de manera simplificada.

$$\theta(t) = IR(t) - DP(t) - ETc(t) \quad (3)$$

Dentro de la ecuación 3 se encuentra el parámetro correspondiente a la evapotranspiración que relaciona dos procesos que suceden de manera simultánea en un cultivo; la transpiración del cultivo y la evaporación de agua del cultivo, considerándose así dos procesos que causan pérdida de agua para la planta. Este parámetro está relacionado directamente con variables climáticas, características del suelo y del cultivo en específico. La ecuación 4 muestra cómo se calcula esta variable.

$$ETc = Kc * ETo \quad (4)$$

Donde:

ETc = evapotranspiración del cultivo

Kc = coeficiente de cultivo

ETo = evapotranspiración de transferencia

Sensores de temperatura y humedad

Dentro de un sistema de riego las variables temperatura y humedad son las más importantes ya que en base a la información que estas adquieran se activara o desactivara el sistema es por esta razón que escoger el sensor adecuado para esta aplicación será el punto de partida para el diseño del sistema. (Lisi, 2018)

Existen varios tipos de sensores que poseen diferentes características entre las principales se puede mencionar la precisión con la cual son capaces de adquirir la información, el rango de temperatura que pueden medir, la linealidad o no linealidad que poseen, entre otras. Sin embargo, para este proyecto se utilizará un sensor de circuito integrado ya que se caracteriza por tener un alto grado de confiabilidad arrojando valores con bajos porcentajes de error. Estos sensores tienen en común que el dato de medición de la humedad obtenido corresponde a la humedad relativa cuya definición corresponde a la relación que existe entre la humedad absoluta y la cantidad de saturación, en otras palabras, se define como el porcentaje de vapor que se encuentra disuelto en cierto volumen de aire con relación al vapor que se necesita para saturarlo. Este valor es representado en porcentaje indicando que 0% significa aire seco y 100% cuando el aire se encuentra saturado de humedad. (Tejeda, 2018). A continuación, se mencionan los sensores de temperatura y humedad más adecuados para este tipo de aplicación:

- SHT200: se caracteriza por ser un sensor muy utilizado debido a su alto estándar de confiabilidad. La temperatura es medida por un sensor de brecha energética mientras que la humedad es medida por un sensor capacitivo. Rango de medición de temperatura: -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Rango de medición de humedad: 0%-100%. Precisión de humedad: $\pm 3\% \text{RH}$. Precisión de temperatura: $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Tipo de interfaz: I2C (SENSIRION, 2022)
- DHT11: es un sensor digital que se caracteriza por su bajo costo y fácil integración a cualquier aplicación. Para medir temperatura emplea un termistor y para la medición de humedad lo hace con un sensor capacitivo. Rango de medición de temperatura: 0 a 50°C . Rango de medición de humedad: 0%-100%. Precisión de temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Precisión de humedad: 5%RH. Tipo de interfaz: single-bus. (Electronics, 2022)

- DHT22: este sensor de temperatura y humedad es familia del sensor DHT11 sin embargo sus principales diferencias radican en el rango de medición y su precisión. Rango de medición de temperatura: -40°C a 80°C . Rango de medición de humedad: 0%-100%. Precisión de temperatura: $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Precisión de humedad: 2%RH. Tipo de interfaz: single-bus. (Electronics Unit, 2022)
- FC-32 Higrómetro: este sensor emplea 2 electrodos resistivos que se encargan de tomar la medición de humedad del suelo. Este sensor arroja un valor de resistencia muy bajo cuando la humedad sea alta mientras que para un suelo que se encuentre muy seco la resistencia tendrá un valor alto. Este sensor tiene una salida de tipo digital, es decir que solo arroja un valor de 0 o 1 que es calibrado en base al potenciómetro que tiene adaptado. (Electronics Unit, 2022)
- SHT10: es un sensor de humedad y temperatura que se caracteriza por su alta confiabilidad y resistencia para aplicaciones industriales. Está construido con acero inoxidable lo que le hace adecuado para aplicaciones de riego. Rango de medición de temperatura: -10°C a 80°C . Rango de medición de humedad: 0%-100%. Precisión de temperatura: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Precisión de humedad: $\pm 5.0\% \text{RH}$. Tipo de interfaz: Digital (two wire). (MCI Electronics, 2022)

Sistema de adquisición de datos

Un sistema que maneja información tomada de sensores está formado por un equipo central que se encarga de recopilar toda la información para luego procesarla y enviarla en este caso a una aplicación en la nube. Este equipo central es el que se encargara de la adquisición de datos de los sensores y para esto se emplea un microcontrolador o un microprocesador.

Un microcontrolador no es más que un circuito integrado que puede ser programado para ejecutar varias funciones, además está formado por un microprocesador, módulo de entradas y salidas que pueden analógicas o digitales, puertos seriales para comunicación con otros dispositivos y posee una memoria para almacenar información. (Cevallos & Chugá, 2019)

Almacenamiento en la nube

Uno de los propósitos por los cuales se emplean las tecnologías IoT es por la característica que poseen en cuanto a la visualización de la información que es obtenida de los sensores instalados en campo. Sin embargo, se ha visto la necesidad de almacenar esta información en algún sitio para que luego pueda ser analizada. Este sitio es el que se conoce como la nube la cual emplea internet para el almacenamiento de información a la cual se puede acceder desde cualquier lugar y en cualquier momento. Existen varias aplicaciones que ofrecen este tipo de almacenamiento las cuales van en relación a las necesidades del usuario, una de ellas es la cantidad de información que se vaya a manejar. (Cevallos & Chugá, 2019)

Plataforma ThingSpeak

Esta plataforma fue desarrollada por la empresa Mathworks para la integración con aplicaciones que sigan el concepto del Internet de las Cosas.

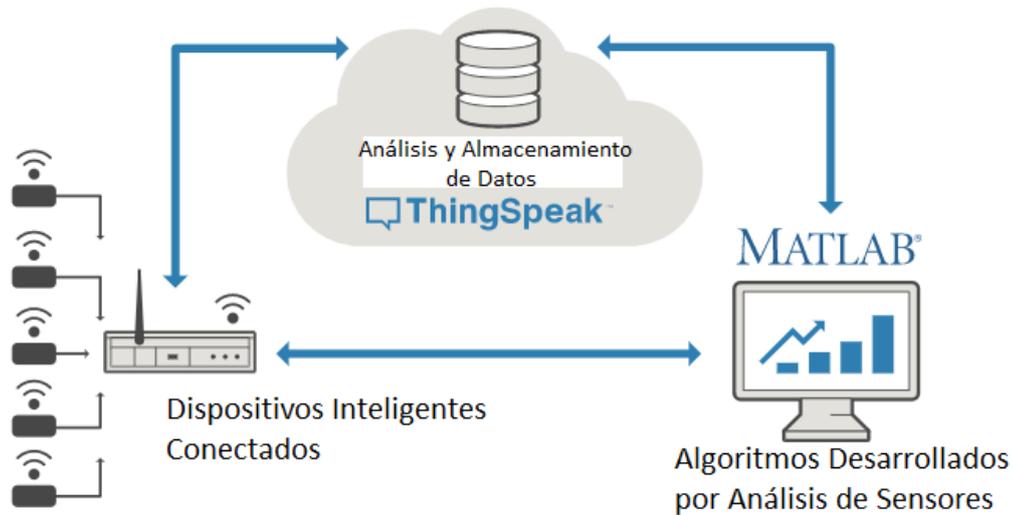


Figura 1 Arquitectura de IoT con ThingSpeak

Fuente: (The Mathworks, Inc., 2022)

En la figura 1 se puede visualizar el lugar que ocupa la plataforma ThingSpeak dentro de la arquitectura del Internet de las Cosas. Esta plataforma tiene como objetivo el análisis y almacenamiento de los datos en un lugar seguro en la nube, además permite la visualización en tiempo real de los datos adquiridos de los sensores instalados. ThingSpeak brinda un entorno de desarrollo fácil de diseñar sin la necesidad de hacer uso de servidores o desarrollar software web, tiene la opción de utilizar código de MATLAB para mostrar los datos de diferentes formas y realizar el análisis que sea necesario. Para el intercambio de información esta plataforma utiliza dos protocolos de comunicación: MQTT para el envío de información desde los equipos instalados en campo hasta la plataforma de ThingSpeak y HTTP para la transmisión y almacenamiento de datos a un servidor en la nube al que se pueda acceder de manera remota. (The Mathworks, Inc., 2022)

Metodología

Estudio del cultivo

Para el presente proyecto se ha tomado como cultivo de estudio al rábano. El rábano pertenece al grupo de las hortalizas y lo que se consume es la raíz, es un cultivo que se produce a nivel mundial. En la tabla 1 se describen las principales características de esta hortaliza. (Comercializadora Hydro Environment S.A., 2022)



Figura 2 Rábanos

Fuente: (Comercializadora Hydro Environment S.A., 2022)

Tabla 1 Características del rábano

Tipo de cultivo	Hortaliza
Temperatura óptima	18°C-22°C
Tiempo promedio de cosecha	30 días
Tipo de suelo	Se adapta a cualquier tipo de suelo
pH de la planta	5,5-6,8
Humedad del suelo	60% al 65%
Tipo de riego	Se recomienda el riego por goteo

Fuente: (Comercializadora Hydro Environment S.A., 2022)

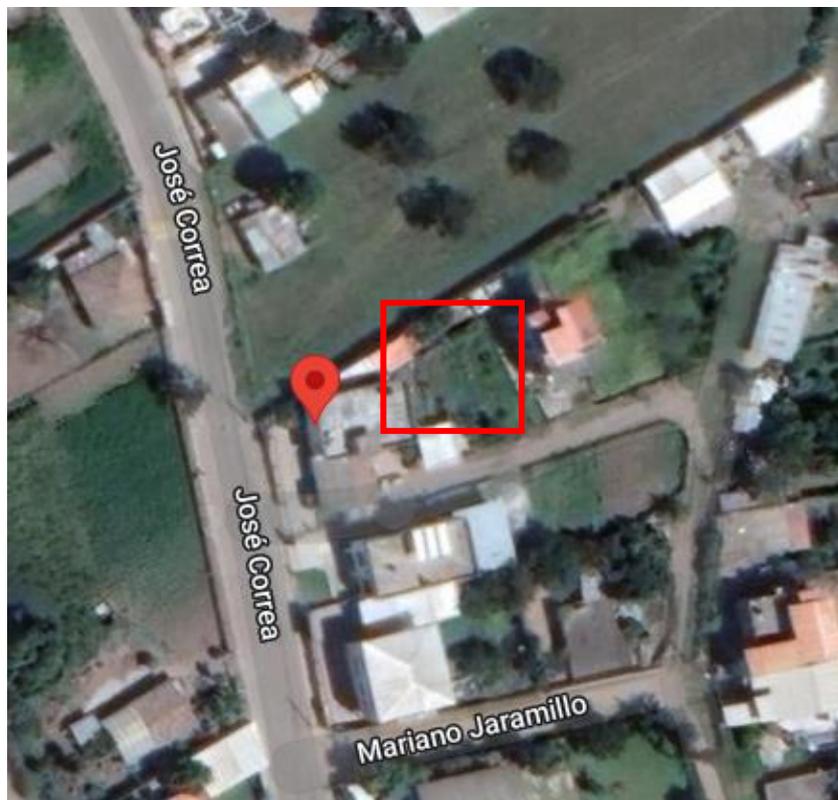
Localización y área del cultivo

El lugar del cultivo se encuentra localizado en la provincia Pichincha, cantón Quito, en la parroquia Tumbaco, localizada en la región sierra del Ecuador.

Este lugar posee un área de 1000m^2 dedicados al cultivo de varios productos como limones, duraznos, uvillas, alfalfa, mandarinas, repollo, rábano, entre otros. Para este proyecto se va a considerar un área de $2,25\text{m}^2$.

El terreno se encuentra a una altura de 2427 msnm y tiene como característica un suelo de tipo “cangahua”. Este suelo se caracteriza por tener aproximadamente 30% de arena, 55% de limo y 15% de arcilla, considerándose así un suelo de tipo Franco (Grueso). (Gaibor & Guano, 2012)

Figura 3 Localización del terreno del cultivo



Fuente: Google Maps

Sensores de humedad y temperatura

En base a lo estudiado en el capítulo 1 respecto a sensores de humedad y temperatura se escogieron los que mejores características brindan para el presente proyecto en cuanto a rango de medición y precisión.

Sensor de temperatura y humedad DHT22

Este sensor se empleará para tomar mediciones tanto de humedad como de temperatura del aire que rodea al cultivo.



Figura 4 Sensor DHT22

Fuente: (Electronics Unit, 2022)

Sensor de temperatura y humedad SHT10

Este sensor será usado para tomar datos de temperatura y humedad del suelo donde se va a encontrar el cultivo.



Figura 5 Sensor SHT10

Fuente: (MCI Electronics, 2022)

Microcontrolador ESP32

La ESP32 es un procesador creado por la empresa Espressif enfocado en aplicaciones de IoT ya que posee un chip capaz de conectarse a Wi-Fi y a Bluetooth. Además, se caracteriza por tener puertos de entrada y salida que convierte de analógico a digital y viceversa, 16 puertos de salida tipo PWM, comunicación I2C, UART y SPI, por último cabe mencionar que

esta tarjeta es posible programarla con el IDE de Arduino lo cual la convierte en una tarjeta fácil de programar. (PROMETEC, 2022)

Este procesador se encargará de centralizar la información adquirida por los sensores de humedad y temperatura y permitirá accionar sobre los actuadores para realizar el riego al cultivo, además será el encargado de enviar la información adquirida a una aplicación en internet que el usuario final será capaz de monitorear remotamente.

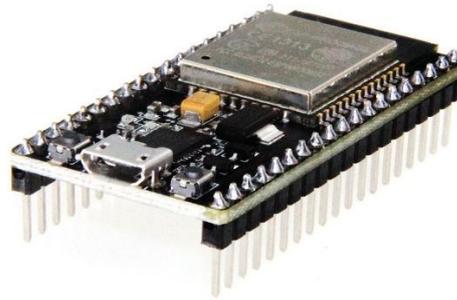


Figura 6 Tarjeta ESP32

Fuente: (PROMETEC, 2022)

Electroválvula

El sistema de riego será activado por un actuador que para el presente proyecto será la electroválvula. Este actuador tiene como objetivo permitir o prohibir el paso del fluido que por el circule cuando a los terminales del solenoide llegue la alimentación eléctrica necesaria. (Unit Electronics, 2022)

En la tabla 2 se muestran las características principales de la electroválvula que se va a utilizar en este proyecto.

Tabla 2 Características de la electroválvula

Voltaje de alimentación	12Vdc
Corriente de consumo	0,6A
Potencia	8 W
Modo de operación	Normalmente cerrado
Presión	0,02 a 0.8mPa
Entrada y Salida	Manguera de ½"
Material	Plástico y metal

Fuente: (Unit Electronics, 2022)



Figura 7 Electroválvula de 12Vdc

Fuente: (Unit Electronics, 2022)

Arquitectura del sistema

En la figura 8 se muestra un esquema del sistema de riego inteligente que da una idea mucho más clara de cómo está formado el prototipo. Para un estudio más organizado se ha dividido al sistema en 4 subsistemas que se van a detallar en los siguientes apartados.

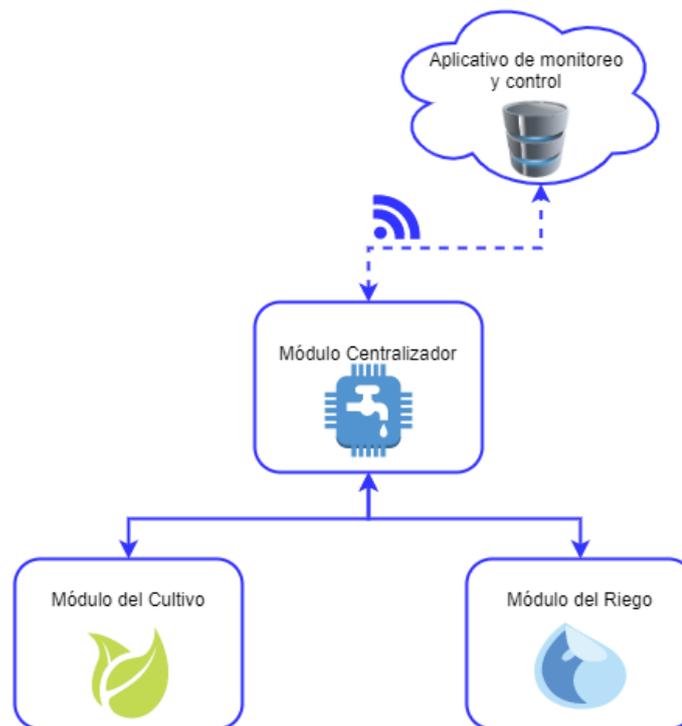


Figura 8 Esquema del sistema de riego inteligente

Fuente: propia

Módulo del cultivo

Como se mencionó en apartados anteriores, el sistema estará formado por un sensor de humedad y temperatura de ambiente y un sensor de humedad y temperatura del suelo. Estos

sensores transmitirán información hacia el modulo centralizador y lo harán de manera alámbrica, esto se puede visualizar de mejor manera en la figura 9.

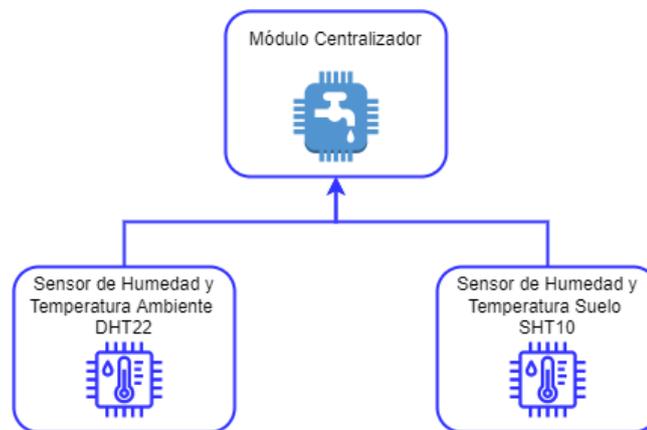


Figura 9 Esquema del módulo del cultivo

Fuente: propia.

El sensor DHT22 se conecta a la ESP32 de manera alámbrica a un pin de entrada digital mediante comunicación 1-wire. Este sensor no necesita de un circuito adicional para su acondicionamiento ya que el sensor cuenta con una placa que incluye una resistencia de pull-up para su funcionamiento adecuado.

El sensor SHT10 también se conecta de manera alámbrica al procesador ESP32 mediante comunicación I2C, es decir que emplea un pin de datos y otro pin para el reloj, este sensor no requiere de un acondicionamiento previo por lo cual no es necesario un circuito adicional para su funcionamiento.

Módulo del Riego

Este módulo se encargará de la medición la cantidad de agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento y la apertura o cierre de válvulas de entrada al tanque y de salida de agua del tanque. En la figura 10 se puede observar el esquema de este módulo, este está conformado por dos sensores de nivel que transmiten información hasta el módulo centralizador y dos electroválvulas que reciben información desde el módulo centralizador para ejecutar acciones de apertura o cierre.

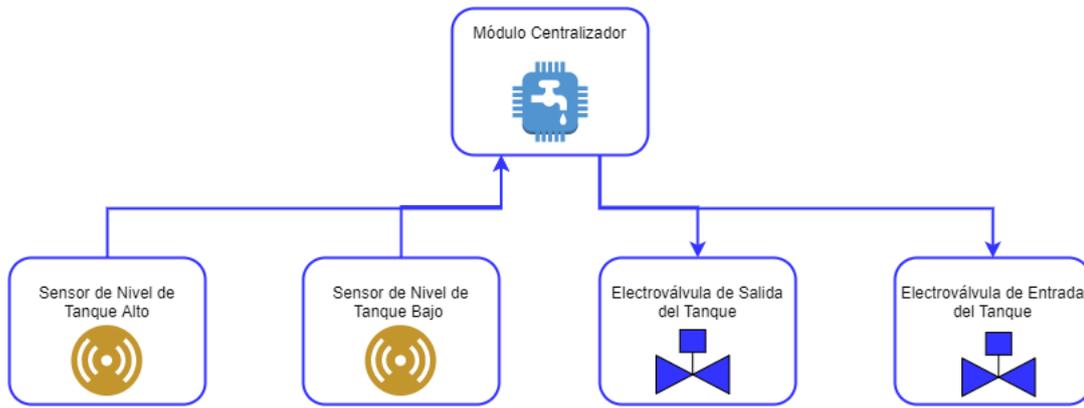


Figura 10 Esquema del Módulo del Cultivo

Fuente: propia

Se decidió implementar un tanque de almacenamiento de agua que permite tener una pequeña reserva de agua en el caso de que el servicio de agua potable se corte con el fin de evitar que el cultivo se vea afectado por este corte. Por esta razón fue necesario el uso de dos sensores de nivel; el primer sensor será el encargado de detectar cuando el agua se encuentre en su valor máximo y el segundo sensor será el encargado de indicar cuando el nivel ha llegado al valor mínimo.

El sensor que se eligió para la medición de nivel se muestra en la figura 11 el cual corresponde al sensor de nivel de agua ZPC1. Este sensor es de tipo magnético y funciona como un interruptor tipo Reed Switch cerrado herméticamente, el cual envía una señal de ON cuando el vástago hace contacto con el flotador de espuma y se desactiva o da una señal de OFF cuando estas dos partes dejan de tener contacto. (Lozury Tech, 2022)



Figura 11 Sensor de nivel de agua ZPC1 de tipo flotador

Fuente: (Lozury Tech, 2022)

Para el control de llenado del tanque se tiene una electroválvula de ingreso que es accionada cuando el sensor de nivel bajo de agua del tanque se activa y se desactiva cuando el sensor de nivel alto de agua del tanque se activa. La alimentación de agua se hizo desde una llave de agua potable que posee la casa dueña del área del cultivo.

Para el control de riego de los cultivos se tiene una segunda electroválvula instalada a la salida del tanque que se activa desde el microcontrolador cuando la humedad del cultivo necesite ser compensada.

Las electroválvulas instaladas tienen un voltaje de alimentación de 12VDC y se van a activar por medio de un módulo de dos Relés que se visualiza en la figura 12.

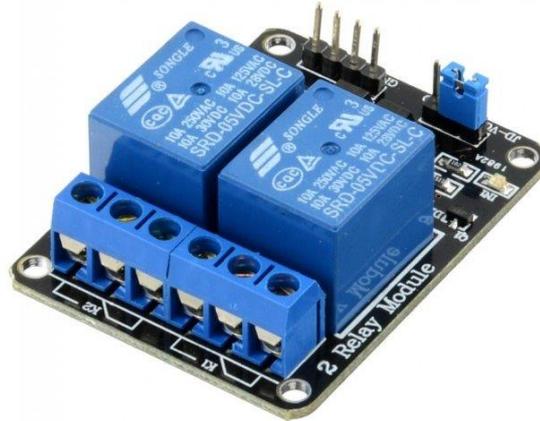


Figura 12Módulo de 2 Relés 5Vdc

Fuente: (Robots Didácticos, 2022)

Este módulo de relés cumple la función de un interruptor mecánico que se va a activar o desactivar desde dos pines digitales de la ESP32, cuando estos se activan dejan pasar la corriente necesaria para encender las electroválvulas que serán alimentadas con una fuente externa de 12Vdc.

Dentro de este módulo también se considera el sistema de riego que se va a instalar en el cultivo, el mismo que de acuerdo con lo mencionado en apartados anteriores se lo hará por el método de goteo recomendado para el cultivo que se está tomando de referencia para este proyecto.

El área del cultivo que se ha destinado para la implementación de este sistema de riego comprende $2,25m^2$. Para este espacio se ha planteado construir 3 líneas de siembra (guachos) separadas 50cm entre sí, cada una tiene 150cm de largo, esto se lo puede observar en la figura 12.

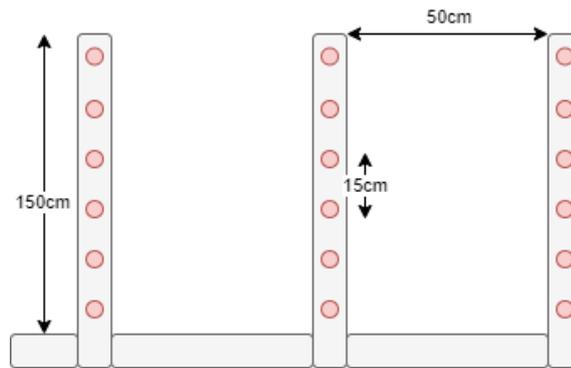


Figura 13 Distribución del sistema de riego para el cultivo de rábanos

Fuente: propia.

El sistema de riego está formado por las siguientes partes:

- Goteros: son los encargados de suministrar agua al cultivo y se instalan en la tubería de riego. En base a los datos del cultivo de este proyecto se instalaron goteros en las tuberías con una separación de 15cm entre cada gotero. En la figura 14 se observa el gotero que se utilizó en este proyecto.



Figura 14 Gotero ajustable 70l/h

Fuente: (Riego Ecuador, 2022)

Tabla 3 Características del gotero ajustable

Característica	Valor
Flujo de emisión	0 a 70 litros/hora
Cantidad de chorros	8 (360°)
Presión recomendada	1bar

Fuente: (Riego Ecuador, 2022)

- Canal de tuberías para distribución: constituyen el camino por el cual circula el agua destinada para el riego. Para este proyecto se utiliza tubería de PVC de ½”.

El diagrama de conexionado de este sistema de distribución se lo pueden observar en la figura 13.

- Válvulas: como se explicó en apartados anteriores el sistema cuenta con una electroválvula a la salida del tanque almacenador que es la encargada de permitir o interrumpir el paso de agua hacia las tuberías de distribución.

En este proyecto no se utilizó una bomba de agua ya que no fue necesaria para el área de cultivo en el que se implementó el sistema.

Módulo Centralizador

Este módulo tiene como elemento principal al microcontrolador ESP32 que es el encargado de recopilar la información adquirida por los sensores instalados y ejecutar acciones sobre los actuadores, además se encarga de enviar la información recopilada a una aplicación en la nube desde la cual se puede monitorear el estado del cultivo y activar o desactivar el riego de manera manual.

El módulo se encuentra montado dentro de una caja metálica formada por los siguientes elementos:

- Breaker: es un elemento de protección que permite el paso o la interrupción de la corriente hacia los circuitos eléctricos. La conexión de entrada al breaker se la tomó desde un tomacorriente externo a la casa. En el caso de que se requiera desconectar por completo el sistema de riego se lo podrá hacer únicamente colocando en posición de apagado a este breaker.

Tabla 4 Consumo de corriente de los componentes del sistema de riego

Elemento	Consumo de Corriente
Placa ESP32	180mA
Electroválvulas	640mA
Sensor DHT22	2.5mA
Sensor SHT10	0.3mA
Sensores de nivel	500mA
Otros componentes	500mA
Total	1822.8mA

Fuente: propia.

En la tabla 4 se puede visualizar el detalle de corriente que consumen cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de riego, en base a este dato se dimensionó un breaker de 10A de 1 polo.

- Tomacorriente doble: es un elemento de conexión el cual es alimentado desde la salida del breaker y al cual se podrá conectar un convertidor de 5Vdc que energiza la placa electrónica y un convertidor 12Vdc que alimenta las electroválvulas.
- Placa electrónica: en esta placa se encuentran montados todos los elementos electrónicos como es el microprocesador ESP32 y borneras de conexión para sensores, actuadores y la respectiva alimentación de la placa.

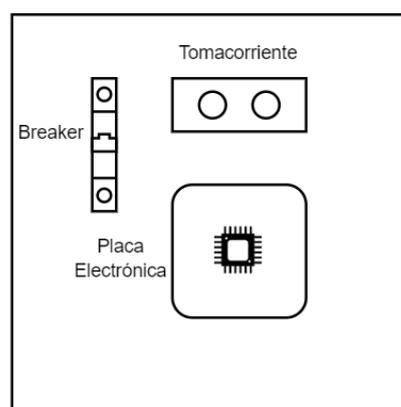


Figura 15 Distribución de componentes Módulo Centralizador

Fuente: propia.

En la figura 15 se puede observar la distribución física de los componentes que forman el módulo centralizador.

Algoritmo de funcionamiento del Módulo Centralizador

El módulo centralizador formado principalmente por el microprocesador será el encargado de realizar 3 tareas esenciales:

- Activación o desactivación del sistema de riego en base a la lectura de los sensores de humedad y temperatura instalados.
- Control de llenado del tanque almacenador de agua.
- Envío y recepción de información de la aplicación desarrollada en la nube.

En la figura 16 se puede observar el algoritmo de funcionamiento que se implementó activar o desactivar el sistema de riego. El proyecto tiene dos modos de funcionamiento: automático y manual. En modo automático el sistema se activa en base a la referencia que se haya configurado de humedad y el parámetro del sensor de humedad que se esté obteniendo en ese momento. La toma de datos de los sensores de temperatura y humedad es adquirida en intervalos de 1 hora. En el caso de que el valor de humedad medido se encuentre fuera del rango de tolerancia de humedad se activa la válvula de salida de agua del tanque almacenador que permite el paso de agua por las tuberías y goteros del sistema de riego instalado. Esta válvula se mantendrá activada hasta que el valor de humedad vuelva a encontrarse dentro del rango de tolerancia aceptado. Cuando entra en este estado de compensación de humedad, la adquisición de datos de los sensores se hace cada 1 segundo.

En el caso de que el usuario haya escogido el modo de funcionamiento manual, bastará con activar un botón de encendido en la aplicación en la nube y la válvula de salida del tanque almacenador se activará e iniciará el proceso de riego hacia el cultivo. Para desactivar esta válvula el usuario deberá presionar el botón de apagado que también se encuentra en la aplicación en la nube.

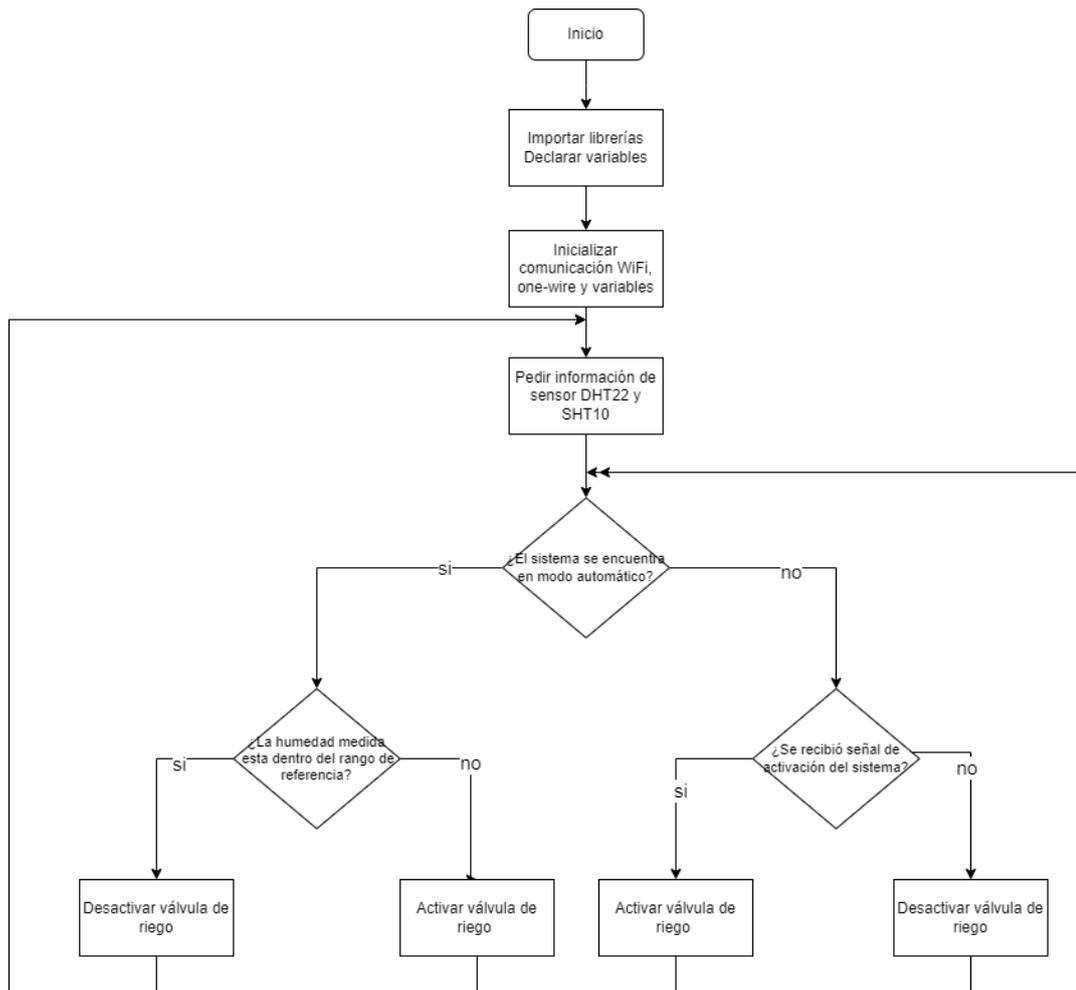


Figura 16 Diagrama de flujo del programa principal del sistema de riego

Fuente: propia

El control del riego que tiene el cultivo se diseñó en base a un sistema de control de lazo de control cerrado. Este tipo de sistemas de control se caracteriza por tener sensores que obtienen la medición real de los parámetros a controlar y la comparan con un valor de referencia propio del caso de estudio. Son también llamados sistemas retroalimentados ya que se encargan de realizar una comparación y en base a esto tomar acciones de control en el proceso. (Hernández R. , 2010)

Para este proyecto se escogió este tipo de sistema de control ya que se tienen sensores de humedad y temperatura que serán los encargados de retroalimentar al sistema y en base a esto tomar acción sobre los actuadores instalados hasta que se llegue al valor de referencia.

En la figura 18 se puede observar el sistema de control de lazo cerrado para este proyecto y las variables que interactúan en el mismo.

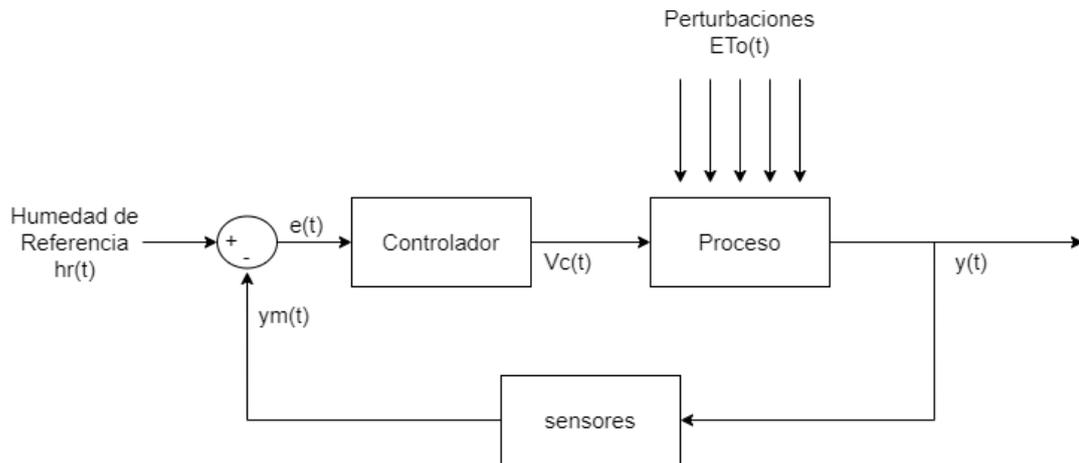


Figura 17 Lazo de control del sistema de riego

Fuente: propia

Donde:

$hr(t)$ = Humedad de referencia del cultivo

$e(t)$ = señal de error del sistema

$Vc(t)$ = Variable de control del sistema

$ETo(t)$ = Perturbación del sistema

$y(t)$ = señal de salida del sistema

$ym(t)$ = señal de salida medida del sistema

En base al lazo de control del sistema de riego se tiene que la señal de error es el resultado de la resta de la humedad de referencia con la salida de humedad medida por el sensor de humedad de suelo SHT10, esto es representado por la ecuación 5.

$$e(t) = hr(t) - ym(t) \quad (5)$$

La perturbación que posee este sistema corresponde a la evapotranspiración ya que son fenómenos que afectan de manera directa al porcentaje de humedad que tiene determinado cultivo, este valor se calcula con la ecuación 4 analizada en el capítulo anterior.

Esta ecuación toma como dato el valor de temperatura ambiental que se obtiene del sensor DHT22.

En la figura 17 se encuentra el algoritmo de funcionamiento del llenado del tanque almacenador. Este programa se encarga de obtener el estado de los sensores de nivel alto y bajo instalados dentro del tanque. Si el sensor de nivel bajo del tanque se encuentra activado se manda a activar la válvula de ingreso de agua al tanque hasta que el sensor de nivel alto se active indicando que se alcanzó la máxima capacidad de almacenamiento de agua y se envía una señal de cierre de válvula.

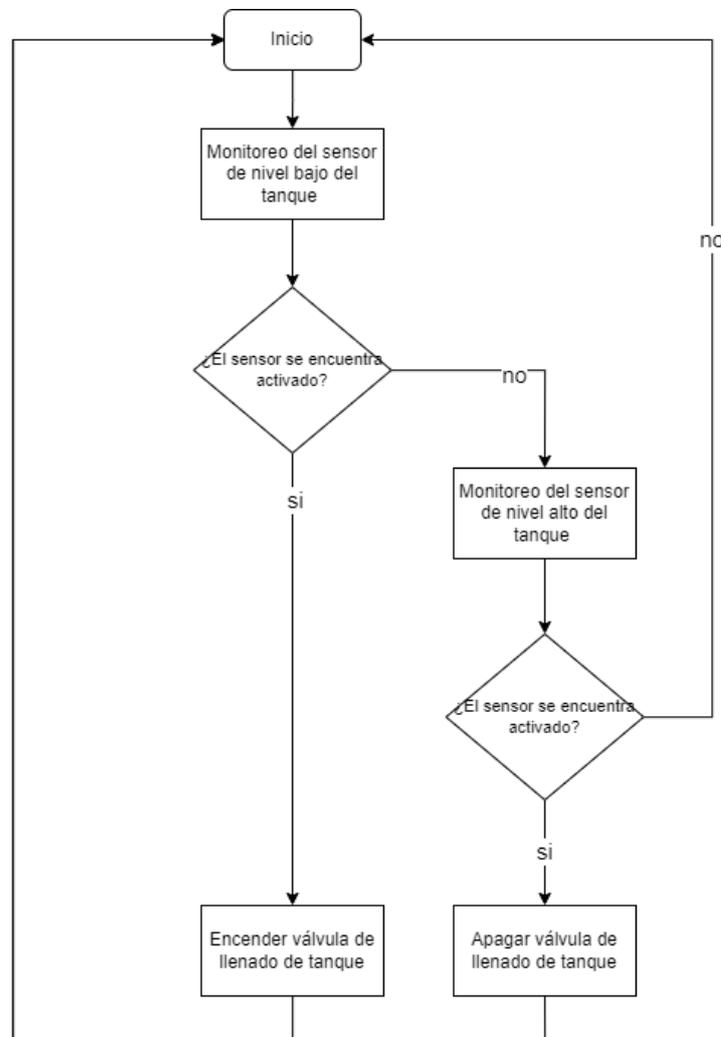


Figura 18 Diagrama de flujo del control de llenado del tanque.

Fuente: propia

Aplicación de Usuario en la Nube

La aplicación fue desarrollada en la plataforma ThingSpeak la cual se escogió en base a varios requerimientos que posee este proyecto entre ellos se puede mencionar:

- Se trata de una aplicación que posee modalidad gratuita y modalidad pagada en base a los requerimientos del usuario. Para el caso de este proyecto no fue necesario el uso de la modalidad pagada ya que la versión gratuita brinda las características necesarias para su desarrollo.
- Brinda un entorno de desarrollo fácil de implementar sin el uso de un servidor web adicional y con características de almacenamiento de información para tener registros históricos. Esta plataforma permite descargar un archivo .CSV con toda la información adquirida hasta el momento de la descarga.
- Sirve como puente de comunicación entre los dispositivos que se encuentran en campo y la plataforma de usuario final mediante protocolo MQTT
- Posee graficas de tipo estándar para la representación de los valores obtenidos en campo y el almacenamiento mediante una API y con uso de protocolo HTTP.

Desarrollo de la aplicación en ThingSpeak

Como configuración inicial de la plataforma se deben de configurar ciertos parámetros iniciales como lo son:

- Canal ID: 1788321
- Numero de canal: 1
- Nombre del canal: Tesis Riego Inteligente UISEK
- Descripción: Aplicación de monitoreo y control de riego inteligente para un cultivo de agricultura urbana.

El número de canal y el ID del canal son usados desde la ESP32 para establecer conexión con el canal asignado en ThingSpeak para el desarrollo de esta aplicación.

Para el almacenamiento y visualización de la información adquirida en campo se deben configurar “Fields” o campos a los cuales se van a apuntar desde la ESP32 para publicación y suscripción. En la tabla 5 se puede visualizar la configuración de los campos asignados para este proyecto.

Tabla 5 Campos de Información en ThingSpeak

Número de Campo	Nombre del Campo	Función
1	Temperatura Ambiente	Lectura
2	Humedad Ambiente	Lectura
3	Temperatura de Suelo	Lectura
4	Humedad de Suelo	Lectura
5	Riego	Lectura
6	Tanque	Lectura
7	Botón	Escritura

Fuente: propia.

Además de los campos antes mencionados es necesario el uso de una API key que no es más que una contraseña que permite el intercambio de información con el servidor web solo si poseemos de esta llave. Existe una API key para lectura y también para escritura y son las que se detallan a continuación:

- API key de escritura: VXHF9JNAY48YNR44
- API key de lectura: K6ER4PQH2YJ7IFD1

Estas llaves son generadas automáticamente y pueden ser cambiadas las veces que sean necesarias.

En la figura 19 se puede observar la pantalla de visualización de la aplicación desarrollada en ThingSpeak, la misma que consta de graficas de diferentes tipos dependiendo de la variable que se esté midiendo.



Figura 19 Pantalla principal de la aplicación desarrollada en ThingSpeak

Fuente: Propia

Tabla 6 Componentes de la aplicación desarrollada en ThingSpeak

ITEM	GRÁFICA	DESCRIPCIÓN
1	Temperatura del Suelo	Gráfica de puntos que muestra los valores de temperatura del suelo adquiridos cada 10 minutos por el sensor SHT10.
2	Humedad del Suelo	<p>Visualizador tipo aguja que indica el porcentaje de humedad del suelo adquirido cada 10 minutos por el sensor SHT10. Está formado por 3 zonas diferencias por colores:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Color verde: indica que la humedad se encuentra dentro del rango permitido. – Color amarillo: indica que el porcentaje de humedad de encuentra dentro de un rango aceptable pero que no es el más adecuado. – Color rojo: indica que el porcentaje de humedad no es el aceptable y es necesario realizar una acción correctiva para que se ubique dentro de rango nuevamente.
3	Temperatura del Ambiente	Gráfica de puntos que muestra los valores de temperatura del ambiente adquiridos cada 10 minutos por el sensor DHT22.
4	Humedad del Ambiente	<p>Visualizador tipo aguja que indica el porcentaje de humedad del ambiente adquirido cada 10 minutos por el sensor DHT22. Está formado por 3 zonas diferencias por colores:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Color verde: indica que la humedad se encuentra dentro del rango permitido. – Color amarillo: indica que el porcentaje de humedad de encuentra dentro de un rango aceptable pero que no es el más adecuado. – Color rojo: indica que el porcentaje de humedad se encuentra dentro de un rango aceptable.
5	Riego Funcionando	Visualizador tipo lámpara que se enciende indicado que el riego se encuentra activado y

		se mantiene apagado cuando el riego no se encuentra funcionando.
6	Llenado de Tanque	Visualizador tipo lámpara que se enciende indicado que el tanque está en modo de llenado cuando acabo el nivel mínimo de agua y se mantiene apagado cuando el tanque se encuentra lleno o sobre el valor mínimo de agua.
7	Activación/Desactivación Manual	Gráfica de tipo punto que permite visualizar el estado de la opción manual de activación o desactivación del riego. <ul style="list-style-type: none"> – 1 si se activó manualmente el riego – 0 si se encuentra desactivado el riego

Fuente: propia.

Como se detalló en la tabla 6, existen 6 componentes que permiten al usuario realizar el monitoreo de las variables adquiridas en campo, sin embargo, el último componente se refiere a la activación o desactivación del sistema de riego de manera manual desde la aplicación. Para interactuar con este componente se lo hace mediante la dirección en formato URL de este campo que es generada automáticamente por la aplicación ThingSpeak, a continuación, se presenta el URL de este campo:

https://api.thingspeak.com/update?api_key=VXHF9JNAY48YNR44&field7=0

Al final del URL se puede observar a que campo se está apuntando y el valor que se quiere asignar al mismo, para el caso de este proyecto corresponde al número 7 (field7).

– Activación del sistema de riego:

https://api.thingspeak.com/update?api_key=VXHF9JNAY48YNR44&field7=1



Figura 20 URL de activación manual del sistema de riego

Fuente: propia

– Desactivación del sistema de riego:

https://api.thingspeak.com/update?api_key=VXHF9JNAY48YNR44&field7=0



Figura 21 URL de desactivación manual del sistema de riego

Fuente: propia.

Almacenamiento de información

La aplicación ThingSpeak posee la opción de almacenamiento de información adquirida por los campos configurados en el desarrollo de la aplicación. Esta información puede ser exportada en un archivo con formato tipo CSV y se lo hace desde la pestaña “Data Import/Export” como se observa en la figura 22. Además, posee la opción de importar un archivo con la misma extensión para ser analizado con las herramientas de MATLAB.

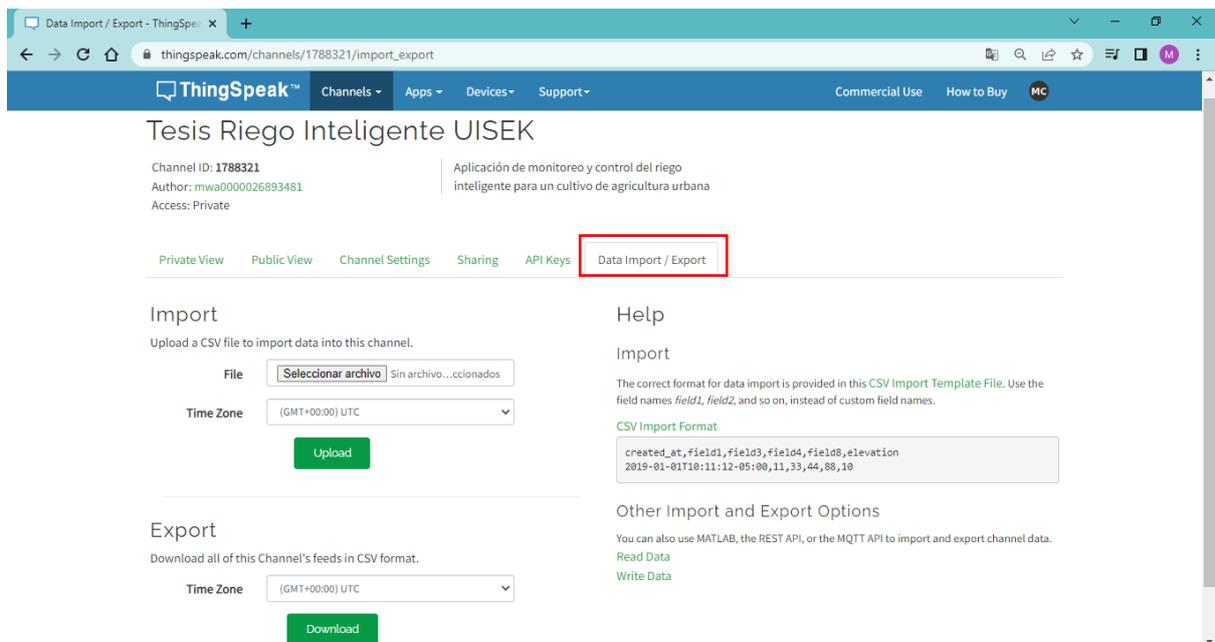


Figura 22 Pestaña de descarga de archivo de almacenamiento de datos.

Fuente: propia.

Aplicación para dispositivos móviles

ThingSpeak desarrollo una aplicación para dispositivos móviles llamada ThingView que permite visualizar los canales que hayan sido configurados. Para acceder al canal desarrollado para este proyecto se necesita únicamente de tener el ID e ingresarlo en dicha

aplicación. Esta aplicación únicamente permite visualizar gráficos de tipo punto como los que se observan en las figuras 23 y 24, estas graficas corresponden a:

- Temperatura Ambiente
- Humedad Ambiente
- Temperatura del Suelo
- Humedad del Suelo
- Riego encendido/apagado
- Tanque llenándose/no llenándose
- Estado del botón de activación/desactivación manual del riego

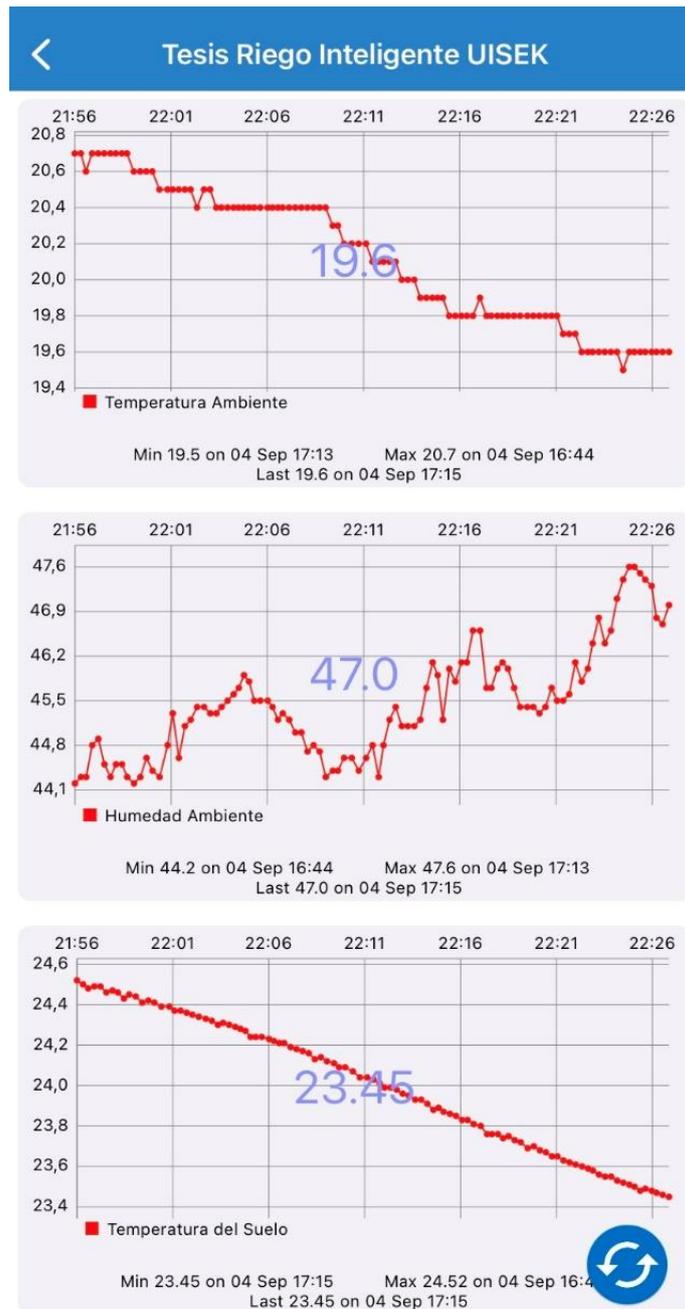


Figura 23 Pantalla de visualización de información en aplicación Thingview.

Fuente: Propia

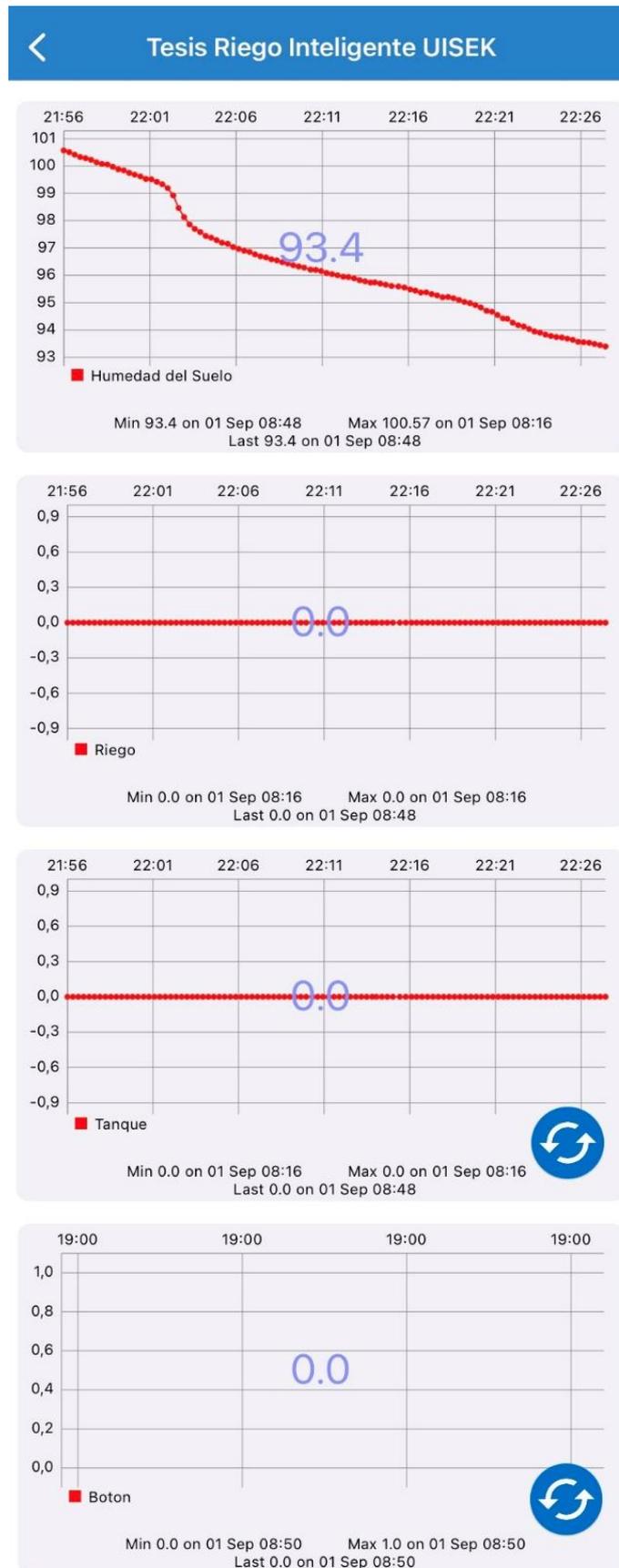


Figura 24 Pantalla de visualización de información en aplicación Thingview

Fuente: Propia

Diseño y Construcción de Tarjeta PCB

Como se detalló en ítems anteriores, el proyecto posee un módulo centralizador que está formado por una tarjeta de circuito impreso. El circuito esquemático se encuentra en el Anexo A y el diseño de la placa en el Anexo B.

Esta placa está formada por el microcontrolador ESP32 que se encarga de la recopilación de la información y envío de la misma a la aplicación en la nube, un led que sirve como indicador de que la placa se encuentra funcionando y 9 borneras que permiten realizar la conexión de sensores, fuentes de alimentación y relés para activación de las electroválvulas.

En la tabla 7 se detalla la funcionalidad de cada bornera.

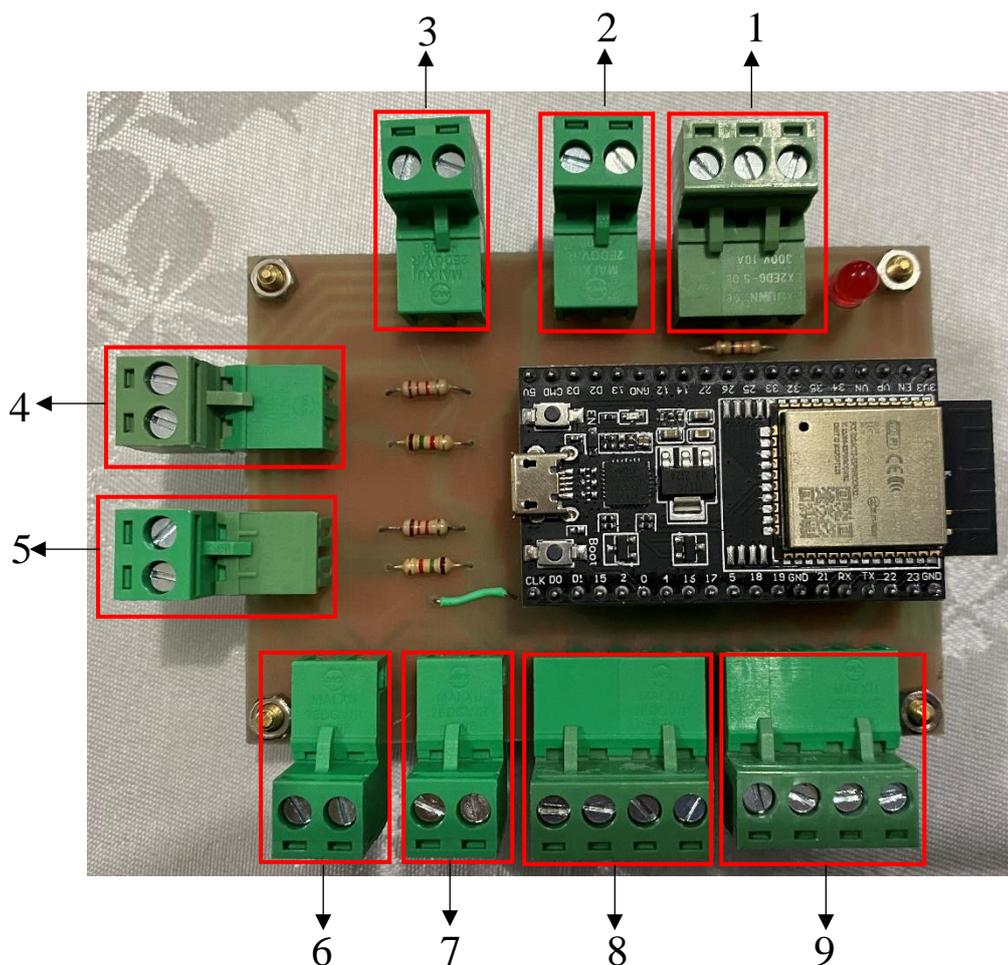


Figura 25 Placa PCB del módulo centralizador

Fuente: propia.

Tabla 7 Borneras de conexión de la placa PCB

ITEM	BORNERA
1	Sensor DHT22
2	Fuente de alimentación de 5V
3	Fuente de alimentación de 12V
4	Sensor de nivel alto
5	Sensor de nivel bajo
6	Alimentación del Relé de la electroválvula de llenado del tanque
7	Alimentación del Relé de la electroválvula de activación de riego
8	Señales de control para activación de electroválvulas
9	Sensor SHT10

Fuente: propia.

Montaje del Sistema de Riego

Montaje del sistema de tuberías

En la figura 26 se puede observar el sistema de tuberías que fue armado para la distribución de agua hacia el cultivo, este se encuentra formado por 3 líneas de distribución elaboradas con tubo PVC de ½", cada línea se encuentra formada por 10 goteros con una distancia de 15cm entre cada gotero. Al final de cada línea se instalaron tapones plásticos como punto final de cada línea.



Figura 26 Tuberías de distribución de agua del sistema de riego

Fuente: propia.

Construcción del tanque almacenador de agua

Para la construcción de esta parte del sistema de riego se tomó como tanque un contenedor de plástico de 32cmx46cmx22cm dando una capacidad de almacenamiento máximo de 32,3 litros. En este tanque se encuentran instaladas dos electroválvulas que permiten el ingreso y salida de agua del tanque.

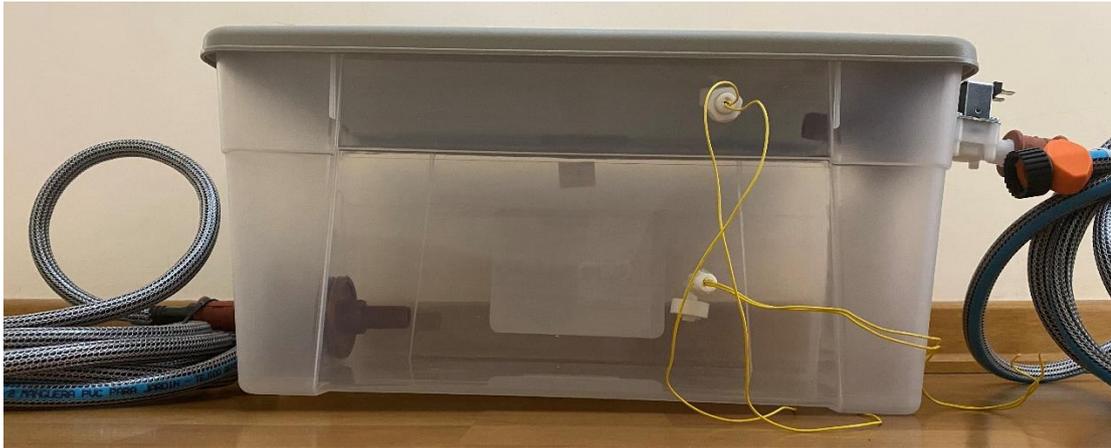


Figura 27 Construcción del tanque almacenador

Fuente: propia.

En la figura 28 se puede observar la instalación de la electroválvula de ingreso de agua al tanque almacenador la cual fue instalada por medio de acoples de plástico correctamente sellados por teflón para evitar fugas de agua. De cada electroválvula se tiene conexión a manguera plástica mallada de ½”.

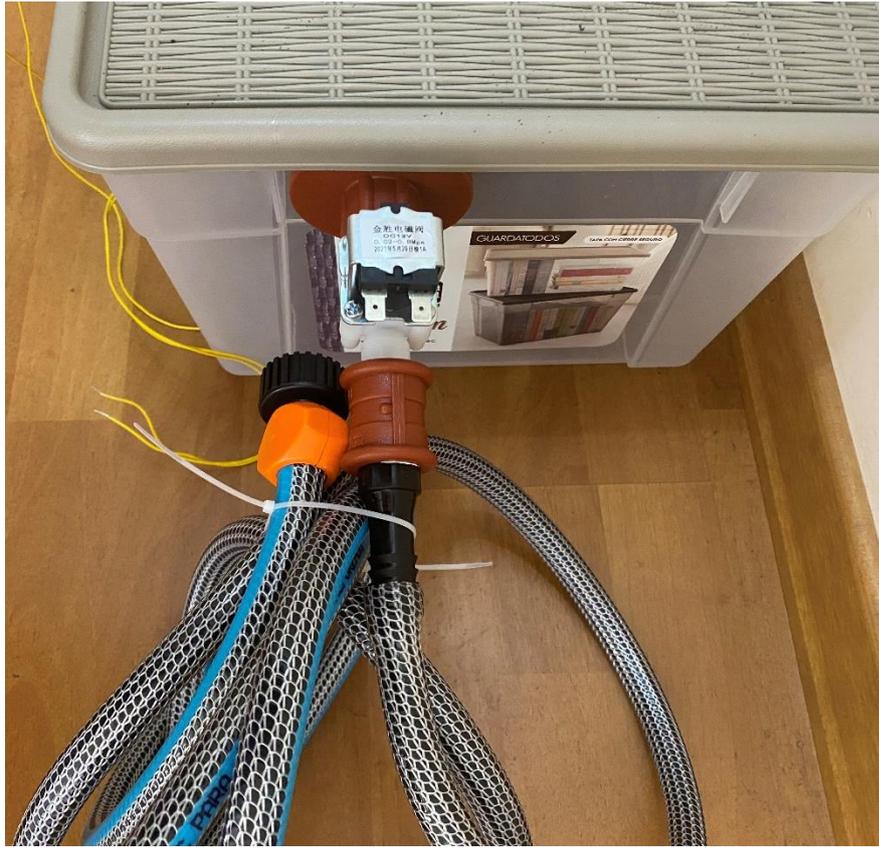


Figura 28 Instalación de válvula de ingreso de agua al tanque almacenador

Fuente: propia.

Los sensores de nivel de agua del tanque almacenador fueron instalados en una misma cara del tanque almacenador y diferentes a las paredes en las que se encuentran instaladas las válvulas. El sensor de nivel alto se encuentra instalado a 20cm de la base del tanque que corresponde a 29 litros de agua aproximadamente y el sensor de nivel bajo a 7cm de la base del tanque que en volumen son 11,7 litros aproximadamente.

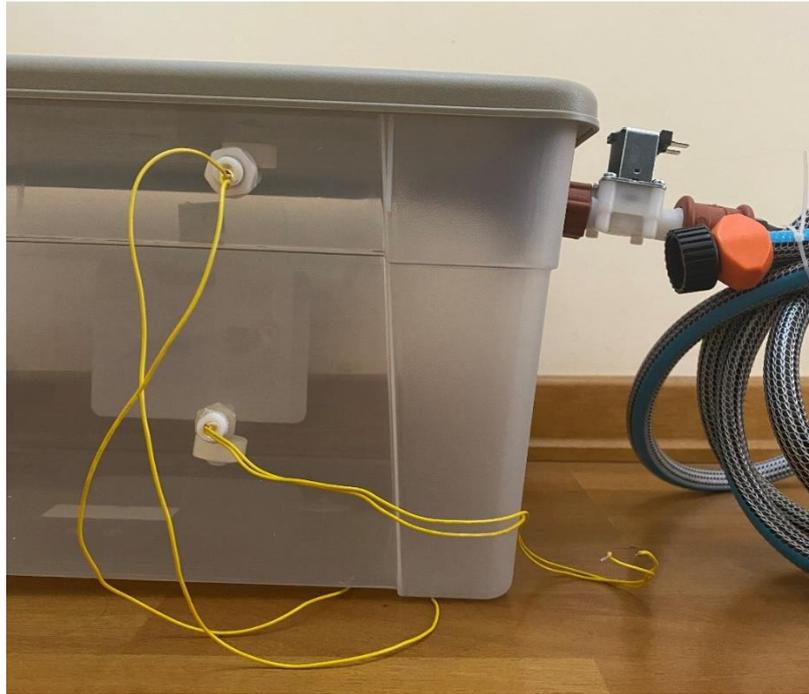


Figura 29 Instalación de los sensores de nivel de agua del tanque almacenador

Fuente: propia.

Construcción y montaje de caja metálica

El módulo centralizador fue montado en una caja metálica con doble fondo de 30x20x15cm la cual se observa en la figura 30.



Figura 30 Caja metálica de doble fondo.

Fuente: propia.

En la figura 31 se pueden observar los componentes que se encuentran dentro de la caja que son: un breaker de 16A de protección al cual llegan 110VAC de la red eléctrica del domicilio en el que se instaló el proyecto y la salida que se encuentra conectada a un tomacorriente, la placa de circuito impreso descrita en ítems anteriores y el módulo de 2 relés que permite accionar las electroválvulas.



Figura 31 Contenido de la caja metálica.

Fuente: propia.

Instalación del prototipo

Como se mencionó en capítulos anteriores el lugar de instalación del prototipo corresponde a una aplicación de agricultura urbana ubicada en la localidad de Puenbo. La instalación se dividió en 3 secciones que corresponden a: tanque almacenador, caja metálica con el módulo centralizador y el sistema de riego por goteo.

En la figura 32 se puede observar el tanque almacenador que fue instalado a una altura de 2.5m, esta altura aporta con la presión suficiente para que la electroválvula de salida de agua hacia el sistema de goteo se abra adecuadamente. Para el llenado del tanque almacenador se conectó una manguera desde una llave de agua ubicada cerca de la instalación del prototipo hacia la electroválvula de llenado.



Figura 32 Instalación del tanque almacenador de agua.

Fuente: propia.

En la figura 33 se puede observar la instalación del módulo centralizador que consta de la caja metálica con todos los dispositivos eléctricos y electrónicos. Esta caja se instaló cerca del sensor de temperatura y humedad de suelo debido a las características que este posee con respecto a la distancia máxima de cableado. La energización eléctrica de esta caja metálica se lo realizó con cable gemelo 16AWG desde un tomacorriente ubicado en los exteriores de la casa. Luego de realizada la instalación en sitio de este módulo se procedió a realizar la conexión interna de cada componente dentro de la caja metálica como se observa en la figura 34.

El sensor de humedad y temperatura de ambiente fue instalado en parte lateral izquierda del gabinete metálico, de esta manera se evitó que el sensor se encontrara lejos del microcontrolador y se originaran distorsiones en las mediciones de dicho sensor.



Figura 33 Instalación de la caja metálica en sitio.

Fuente: propia.



Figura 34 Conexión interna de los dispositivos del módulo centralizador.

Fuente: propia.

Por último, se instaló el sistema de riego por goteo en un área de 2.25m² y al lado de esta área se realizó la cosecha de la misma hortaliza, pero sin el sistema de riego para realizar la comparación de los resultados. En la figura 35 se pueden estas dos áreas que fueron cercadas para identificarlas fácilmente del resto de cultivos. El sensor de humedad y temperatura de suelo fue instalado en la parte central del área donde se encuentra el sistema de riego por goteo.



Figura 35 Áreas de cultivo con sistema de riego y sin sistema de riego.

Fuente: propia.

En la figura 36 se puede observar la instalación completa de todo el prototipo con cada una de las partes antes detalladas.

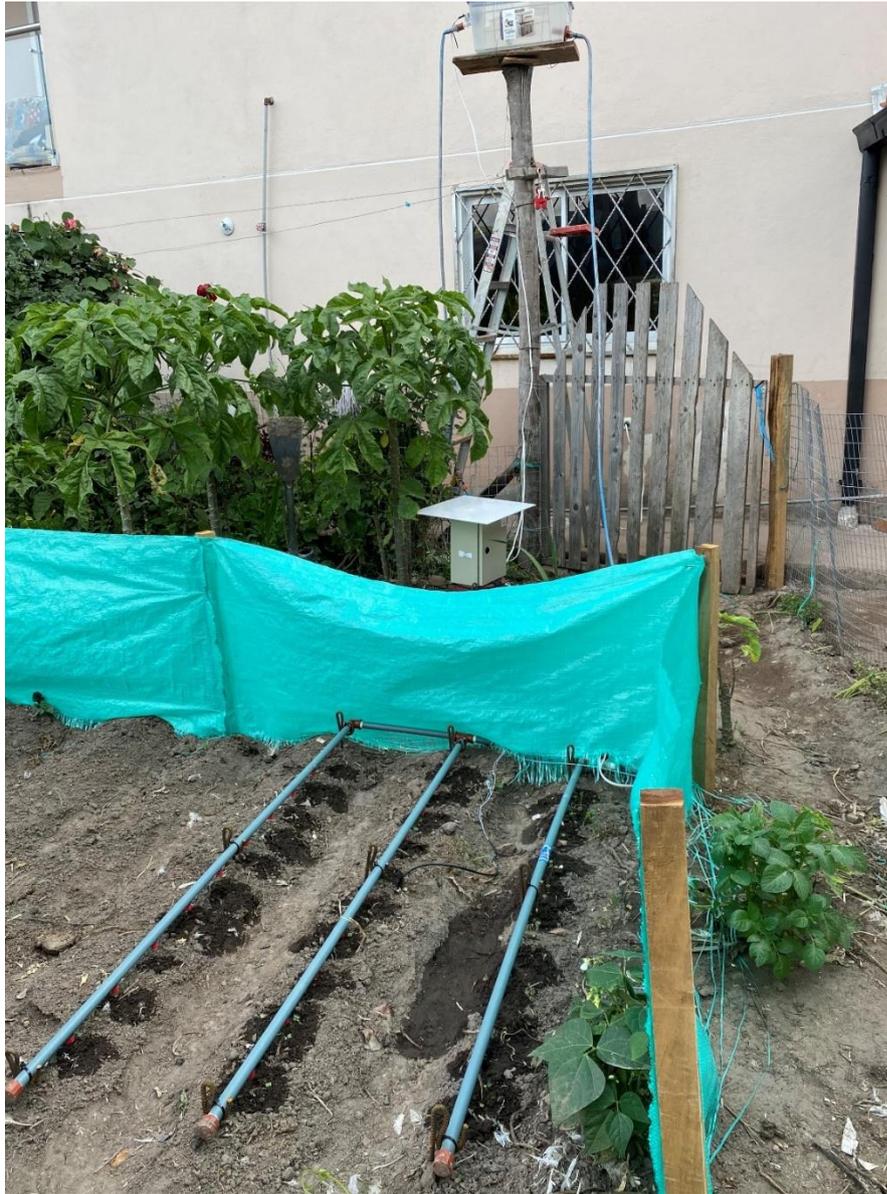


Figura 36 Instalación del prototipo.

Fuente: propia.

Resultado

Pruebas del Prototipo

Antes de proceder al montaje completo del sistema de riego se realizaron determinadas pruebas a los dispositivos de manera individual para luego realizar las pruebas del prototipo total integrado.

Pruebas de lectura del sensor DHT22

Para realizar las pruebas de medición de temperatura y humedad del sensor DHT22 se lo conecto a la ESP32 y mediante el uso de la librería <DHT.h> se pudieron adquirir los valores de humedad en porcentaje y temperatura en °C. En la figura 18 se puede observar la pantalla del monitor serial del IDE de Arduino que indica la variación de los valores de humedad y temperatura que se adquieren ante pequeñas perturbaciones causadas.

```

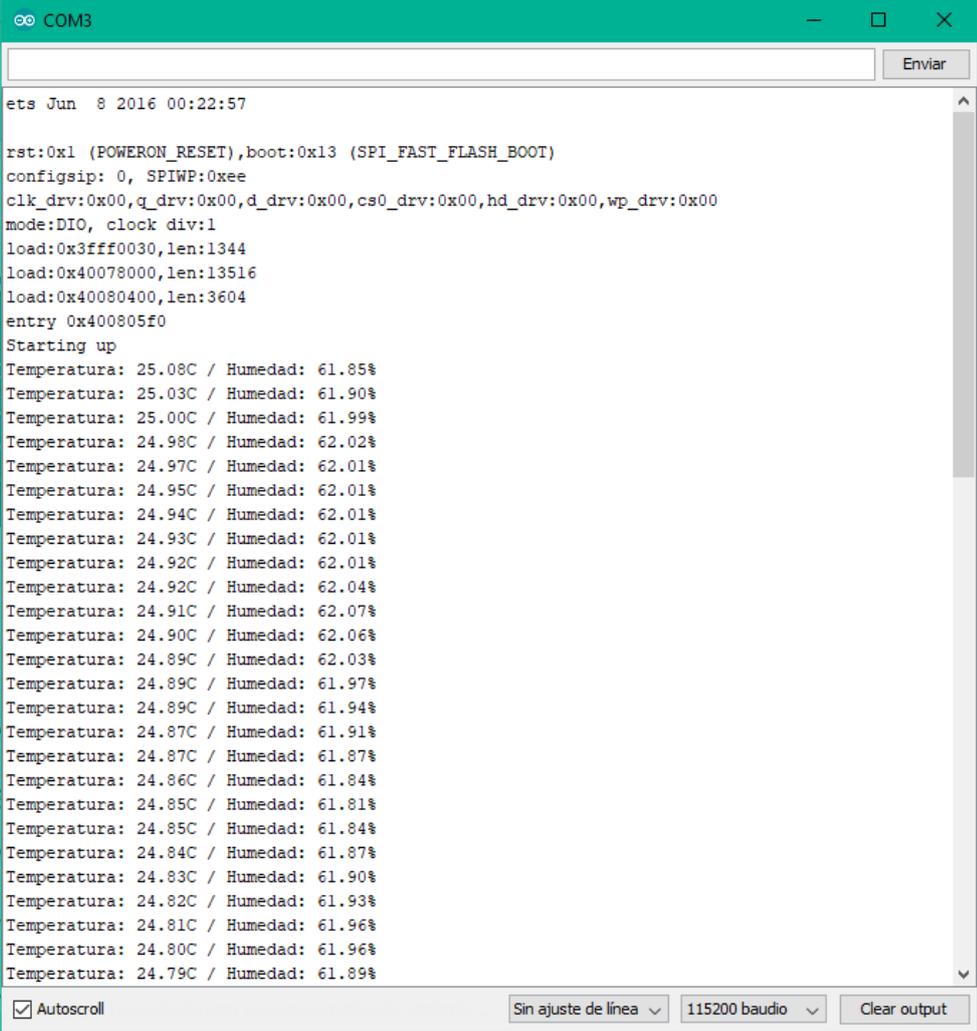
COM3
rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
config:0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0030,len:1344
load:0x40078000,len:13516
load:0x40080400,len:3604
entry 0x400805f0
PRUEBA DHT22
Humedad: 56.50% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 56.50% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 56.50% Temperatura: 21.50°C
Humedad: 56.50% Temperatura: 21.50°C
Humedad: 56.50% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 56.80% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 56.80% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 59.30% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 59.30% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 63.20% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 63.20% Temperatura: 21.60°C
Humedad: 71.20% Temperatura: 21.70°C
Humedad: 71.20% Temperatura: 21.70°C
Humedad: 77.30% Temperatura: 21.80°C
Humedad: 77.30% Temperatura: 21.80°C
Humedad: 82.30% Temperatura: 21.90°C
Humedad: 82.30% Temperatura: 21.90°C
Humedad: 86.90% Temperatura: 22.10°C
Humedad: 86.90% Temperatura: 22.10°C
Humedad: 90.30% Temperatura: 22.30°C
Humedad: 90.30% Temperatura: 22.30°C
  
```

Figura 37 Prueba de medición de temperatura y humedad del sensor DHT22

Fuente: propia.

Pruebas de lectura del sensor SHT10

Para realizar las pruebas de adquisición de datos de este sensor se lo realizo conectándolo a la ESP32 y mediante la librería <SHT1x-ESP.h> se obtuvieron los valores de la humedad en porcentaje y de la temperatura en °C. Se provocaron pequeñas perturbaciones para observar como estos parámetros variaban, esto se puede observar en la figura 33.



```

ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0030,len:1344
load:0x40078000,len:13516
load:0x40080400,len:3604
entry 0x400805f0
Starting up
Temperatura: 25.08C / Humedad: 61.85%
Temperatura: 25.03C / Humedad: 61.90%
Temperatura: 25.00C / Humedad: 61.99%
Temperatura: 24.98C / Humedad: 62.02%
Temperatura: 24.97C / Humedad: 62.01%
Temperatura: 24.95C / Humedad: 62.01%
Temperatura: 24.94C / Humedad: 62.01%
Temperatura: 24.93C / Humedad: 62.01%
Temperatura: 24.92C / Humedad: 62.01%
Temperatura: 24.92C / Humedad: 62.04%
Temperatura: 24.91C / Humedad: 62.07%
Temperatura: 24.90C / Humedad: 62.06%
Temperatura: 24.89C / Humedad: 62.03%
Temperatura: 24.89C / Humedad: 61.97%
Temperatura: 24.89C / Humedad: 61.94%
Temperatura: 24.87C / Humedad: 61.91%
Temperatura: 24.87C / Humedad: 61.87%
Temperatura: 24.86C / Humedad: 61.84%
Temperatura: 24.85C / Humedad: 61.81%
Temperatura: 24.85C / Humedad: 61.84%
Temperatura: 24.84C / Humedad: 61.87%
Temperatura: 24.83C / Humedad: 61.90%
Temperatura: 24.82C / Humedad: 61.93%
Temperatura: 24.81C / Humedad: 61.96%
Temperatura: 24.80C / Humedad: 61.96%
Temperatura: 24.79C / Humedad: 61.89%

```

Figura 38 Prueba de medición de temperatura y humedad del sensor SHT10.

Fuente: propia.

Pruebas de lectura de sensores de nivel

Los sensores de nivel son sensores digitales que únicamente presentan dos estados (activado/desactivado), para realizar las pruebas de lectura se los conecto de manera directa a

la ESP32 y con el uso del puerto serial se verifico que dicho estado cambie correctamente ante la manipulación manual. Estos cambios se pueden verificar en las figuras 34 y 35 para el sensor de nivel alto y bajo respectivamente. Además, se tabularon 10 cambios de estado los mismos que se pueden observar en la tabla 8 para verificar el correcto funcionamiento.

Tabla 8 Datos obtenidos de la prueba efectuada a los sensores de nivel del tanque.

N° Intento	Sensor de nivel alto	Sensor de nivel bajo
1	Si	Si
2	Si	Si
3	Si	Si
4	Si	Si
5	Si	Si
6	Si	Si
7	Si	Si
8	Si	Si
9	Si	Si
10	Si	Si

Fuente: propia.

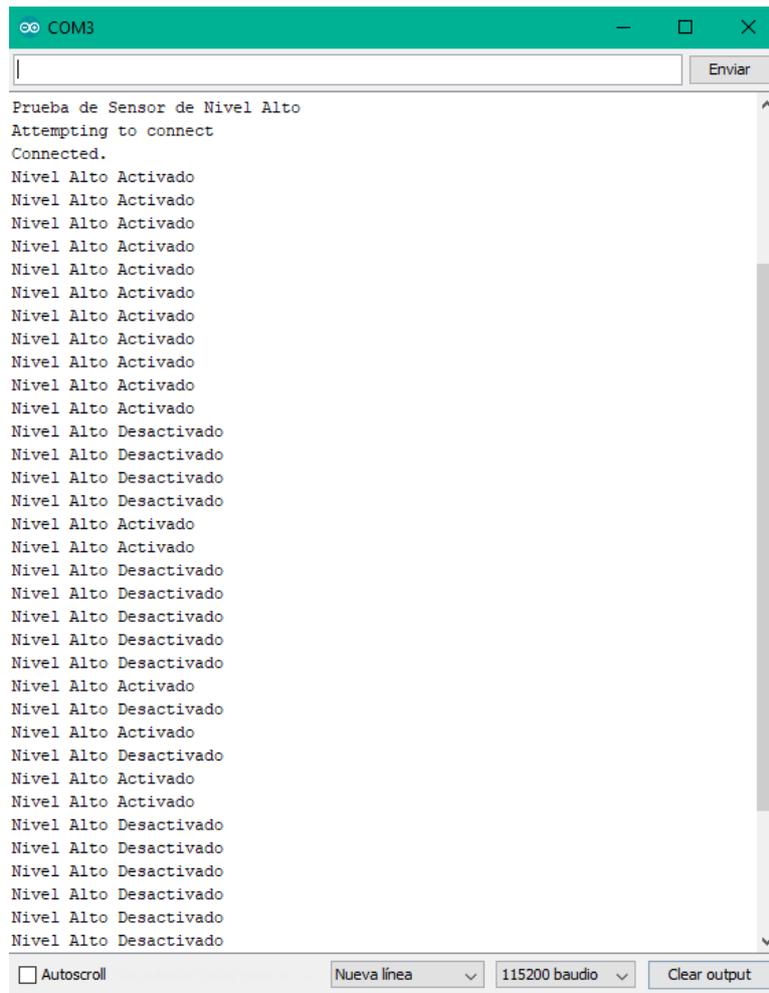


Figura 39 Prueba realizada al sensor de nivel alto para el tanque.

Fuente: propia.

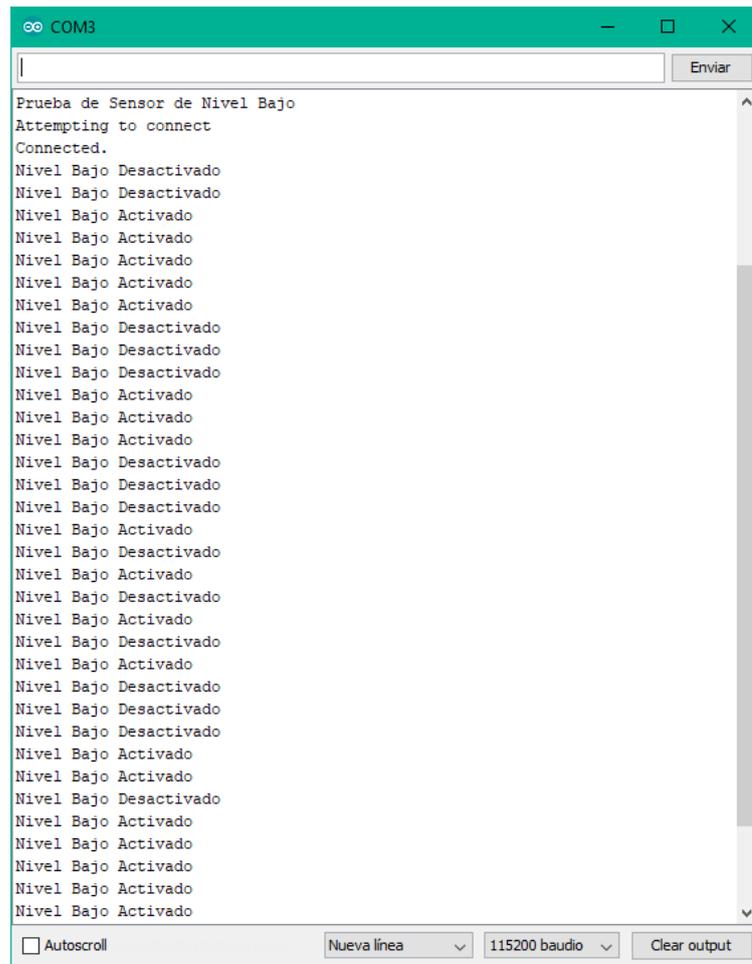


Figura 40 Prueba realizada al sensor de nivel bajo del tanque.

Fuente: propia

Prueba de activación y desactivación de electroválvulas

Las electroválvulas presentan dos únicamente dos estados que corresponden a la apertura total de la válvula y el cierre total de la misma. Para realizar las pruebas a estos dispositivos se los conecto al módulo de relés ya que su alimentación es a 12V y para el control se lo hizo desde dos pulsadores conectados a la ESP32 y desde la cual se enviaban señales de 1 o 0 al módulo de relés para la apertura o cierre de las válvulas. Con la ayuda del monitor serial se verifico el estado en el que se debían de encontrar las válvulas:

- Activada: válvula abierta permitiendo el paso del agua.
- Desactivada: válvula cerrada impidiendo el paso del agua.

En las figuras 36 y 37 se puede observar el monitor serial con el estado de la electroválvula de entrada de agua al tanque y de la electroválvula de salida de agua hacia el sistema de riego. Además, se tabularon 10 valores de prueba de apertura y cierre para cada electroválvula que se pueden verificar en la tabla 9.

Tabla 9 Datos obtenidos de las pruebas efectuadas a las electroválvulas.

N° Intento	Válvula de entrada de agua al tanque	Válvula de salida de agua al sistema de riego
1	Si	Si
2	Si	Si
3	Si	Si
4	Si	Si
5	Si	Si
6	Si	Si
7	Si	Si
8	Si	Si
9	Si	Si
10	Si	Si

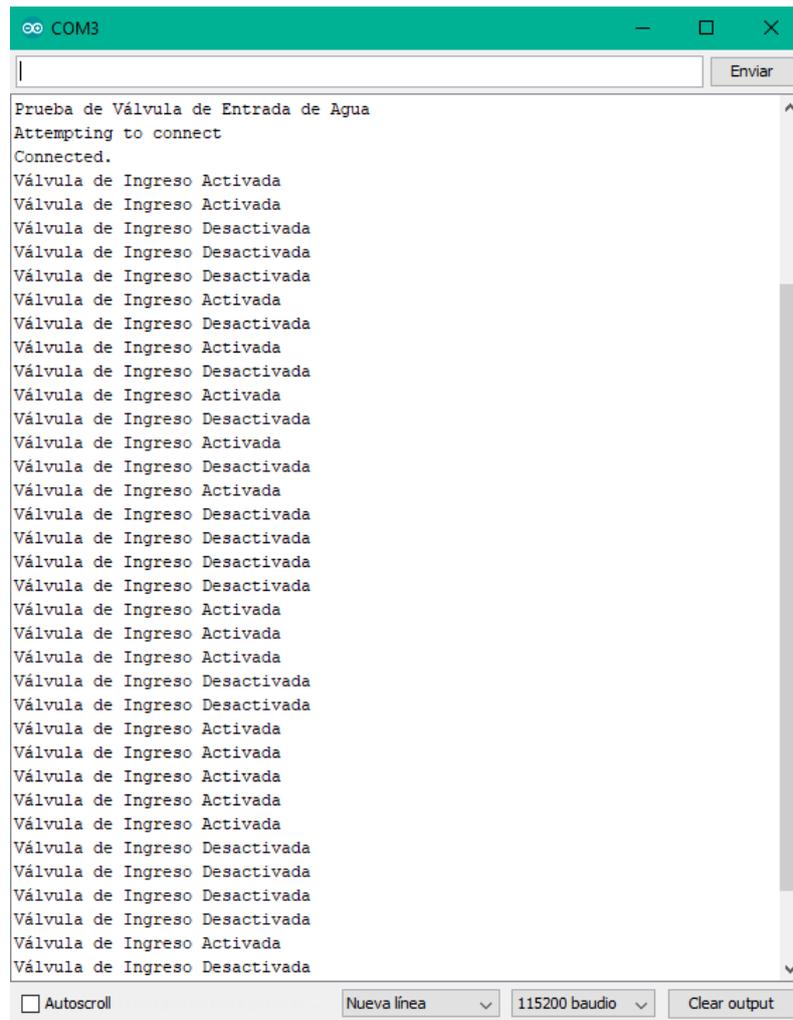


Figura 41 Prueba de estado de la electroválvula de entrada de agua al tanque

Fuente: propia

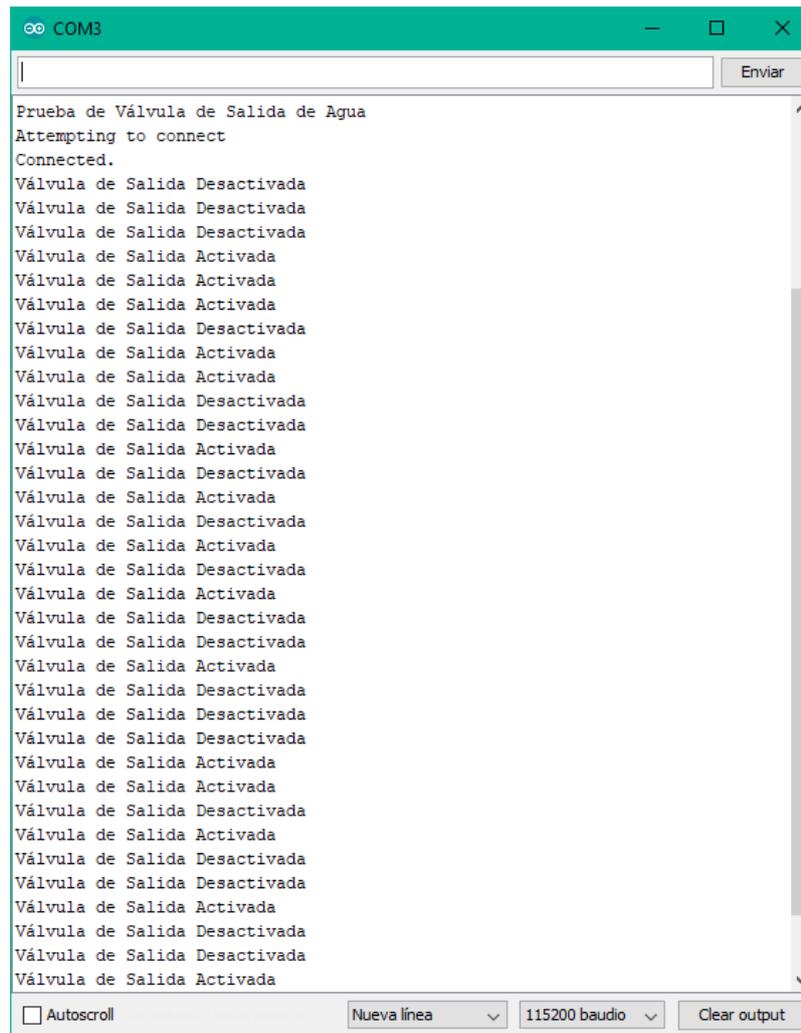


Figura 42 Prueba de estado de la electroválvula de salida de agua del tanque

Fuente: propia

Prueba de funcionamiento del sistema integrado

Como se detalló en el capítulo anterior el sistema de riego se basa en un control en lazo cerrado donde el valor de setpoint corresponde al 60% de humedad del suelo, debajo de este valor el sistema de riego debe ser activado para compensar el error calculado y sobre este valor el sistema debe permanecer activado.

Una vez realizadas las pruebas a cada sensor y actuador del sistema de manera individual se procedió a integrar todos dispositivos con la ESP32 y la programación de la lógica antes mencionada para verificar el correcto funcionamiento. Esta prueba se realizó con la ayuda del monitor serial en el cual se podían observar los valores de temperatura y

humedad de los dos sensores y el estado del riego y del tanque almacenador, esto se lo puede observar en la figura 38.

```

COM3
Enviar
DHT22 Humedad: 56.50% Temperatura: 21.00°C
SHT10 Humedad: 68.31% Temperatura: 21.81°C
Tanque se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 56.70% Temperatura: 21.00°C
SHT10 Humedad: 68.25% Temperatura: 21.80°C
Tanque se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 56.80% Temperatura: 20.90°C
SHT10 Humedad: 68.23% Temperatura: 21.83°C
Tanque se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.00% Temperatura: 20.90°C
SHT10 Humedad: 68.23% Temperatura: 21.83°C
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.10% Temperatura: 20.80°C
SHT10 Humedad: 68.17% Temperatura: 21.83°C
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.30% Temperatura: 20.80°C
SHT10 Humedad: 68.14% Temperatura: 21.84°C
Tanque NO se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.40% Temperatura: 20.70°C
SHT10 Humedad: 68.17% Temperatura: 21.84°C
Tanque NO se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.50% Temperatura: 20.70°C
SHT10 Humedad: 68.11% Temperatura: 21.82°C
Tanque NO se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.60% Temperatura: 20.60°C
SHT10 Humedad: 68.14% Temperatura: 21.82°C
Tanque NO se esta llenando
Riego Desactivado
DHT22 Humedad: 57.70% Temperatura: 20.50°C
SHT10 Humedad: 68.11% Temperatura: 21.83°C
 Autoscroll Nueva línea 115200 baudio Clear output

```

Figura 43 Prueba de funcionamiento del sistema integrado.

Fuente: propia

Además, se tabularon 10 valores de prueba de funcionamiento para verificar que el cada parte del sistema esté funcionando adecuadamente, esto ser visualiza en la tabla 10.

Tabla 10 Datos obtenidos de las pruebas efectuadas al sistema integrado.

N° Intento	Sensor DHT22	Sensor SHT10	Lógica de activación de riego	Lógica de llenado del tanque
1	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	Si
3	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si
5	Si	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si	Si
8	Si	Si	Si	Si
9	Si	Si	Si	Si
10	Si	Si	Si	Si

Fuente: propia.

Pruebas de comunicación con la aplicación ThingSpeak

Una vez desarrollada la aplicación en ThingSpeak y realizada la programación en la ESP32 para realizar el intercambio de información se realizaron pruebas de comunicación entre la ESP32 y la aplicación ThingSpeak. Para esta prueba se utilizó el puerto serial de la ESP32 (figura 40) en el cual se visualizaba la medición directa de los sensores y los estados de las electroválvulas y en ThingSpeak se verificó que los mismos valores sean recibidos y presentados en las gráficas (figura 39).



Figura 44 Visualización de datos en ThingSpeak

Fuente: propia

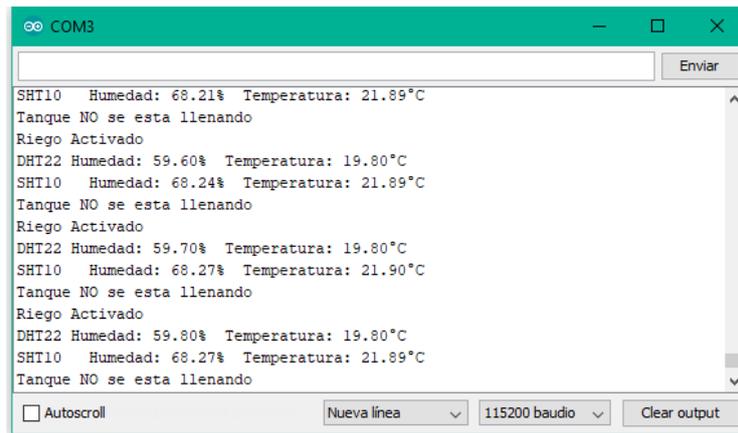


Figura 45 Visualización de datos en puerto serial de la ESP32

Fuente: propia

Ya que la aplicación cuenta también con la opción de realizar el intercambio de información desde ThingSpeak hacia la ESP32 también se realizó una prueba de comunicación en esta dirección, para esto se envió la información de activación o desactivación del sistema de riego desde ThinkSpeak y con el puerto serial de la ESP32 se pudo comprobar que esta señal sea recibida. Esta prueba se puede visualizar en la figura 41.

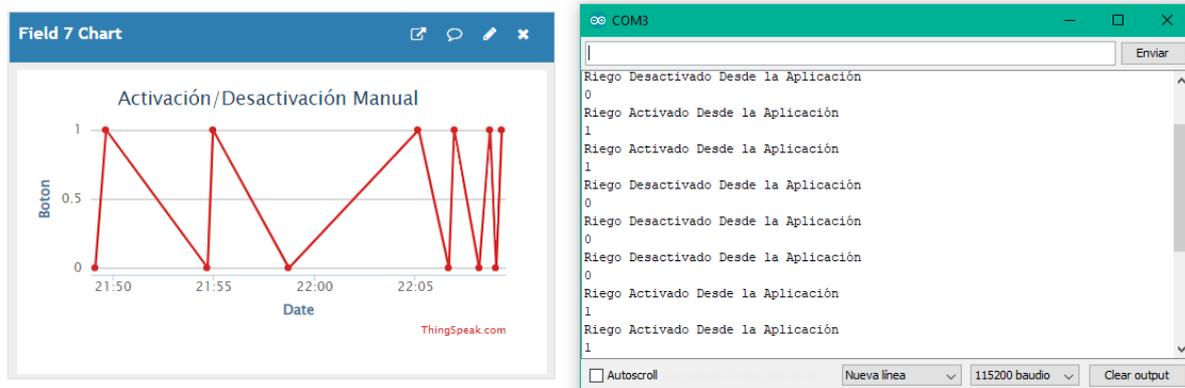


Figura 46 Prueba de comunicación desde ThingSpeak hacia la ESP32.

Fuente: propia

Costos del sistema de Riego

Costos del sistema de riego por goteo

En la tabla 11 se detallan los elementos empleados en la construcción del proyecto con sus determinados valores en dólares esto con la finalidad de conocer el valor total de la

construcción del sistema de riego, sin embargo, se deberían de considerar los costos de ingeniería en donde se vería involucrado el diseño de software y hardware de este prototipo.

Tabla 11 Costo de elementos utilizados para la construcción del proyecto

Cantidad	Elemento	P. Unitario	P. Total
30	Goteros	0,12	3,60
1	Tubo de PVC ½"	8,56	8,56
2	Adaptador P/tanque polipropileno ½"	2,34	4,68
1	Codo Roscable ½"	0,44	0,44
3	Tapo hembra roscable ½"	0,38	1,15
2	Tee roscable ½"	0,55	1,11
1	Conexión de plástico hembra ½"	1,41	1,41
8m	Manguera mallada ½"	0,67	5,36
3	Adaptador Flex ½"	0,17	0,68
1	Unión roscable ½"	0,52	0,52
1	Cinta teflón	0,22	0,22
1	Conector "Y" mangueras	2,35	2,35
1	Contenedor plástico 32cmx46cmx22cm	9,50	9,50
1	Macetero plástico	2,51	2,51
17m	Cable gemelo 16AWG	0,57	9,69
1	Enchufe blindado 3 patas	0,57	0,57
1	Breaker tipo riel din 1P 16 ^a 110V	4,47	4,47
1	Tomacorriente sobrepuesto doble 125V 15A	1,24	1,24
7m	Cable UTP Cat 6 4x24 C/M AWG	0,57	4,00
1	Gabinete Metálico 30x20x15cm doble fondo	21,00	21,00
1	Placa PCB	16,00	16,00
1	ESP-32	12,00	12,00
1	Sensor DHT22	7,00	7,00
2	Electroválvulas 12V	9,00	18,00
2	Sensores de nivel magnéticos	5,50	11,0
1	Modulo de disparo 2 relay	1,70	1,70
1	Elementos para placa PCB	11,38	11,38
1	Cargador 5V	5,00	5,00
1	Cargador 12V	8,00	8,00
1	Semillas de Rábano	1,76	1,76

1	Materiales Varios	15,00	15,00
		Subtotal	189,90
		IVA 12%	22,79
		TOTAL	212,69

Fuente: propia.

Discusión

Para realizar analizar resultados con respecto a la instalación de este proyecto se designaron dos áreas de terreno: una en la que no se encontrara instalado el sistema y que fuera regado de manera tradicional y ya segunda en la cual se encontrara instalado el sistema de riego inteligente. A continuación, se presentan imágenes de la evolución que tuvo el cultivo a lo largo de 5 semanas hasta que se realizó la cosecha de la hortaliza.



Figura 47 Evolución del cultivo a los 15 días.

Fuente: propia.



Figura 48 Evolución del cultivo a los 28 días.

Fuente: propia.



Figura 49 Evolución del cultivo a los 35 días.

Fuente propia.

De acuerdo con las imágenes presentadas se puede evidenciar la diferencia que existe entre el sistema de riego tradicional y el sistema de riego inteligente. Las áreas de cultivo presentan diferencias representativas en cuanto al crecimiento de las hortalizas, además en la figura 50 se observan dos grupos de hortalizas que son producto de la cosecha realizada para la misma fecha, de lado izquierdo se observan los rábanos que utilizaron el sistema de riego inteligente y de lado derecho los que fueron regados de manera tradicional.



Figura 50 Rábanos cosechados.

Fuente: Propia

Para obtener una validación de los resultados de forma cuantitativa se escogieron 5 rábanos del cultivo que no tenía instalado el sistema de riego inteligente y 5 rábanos del cultivo que sí tenía dicho sistema para realizar así una comparación. En la figura 51 se pueden observar los rábanos tomados como muestra para esta comparativa.



Figura 51 Muestra de rábanos para realizar comparativas métricas.

Fuente: Propia

Tabla 12 Datos de dimensiones y peso de muestra de rábanos sin sistema de riego.

	Rábano #1	Rábano #2	Rábano #3	Rábano #4	Rábano #5
Peso (gramos)	21.4	12.8	8.4	13.4	15.3
Largo (cm)	5.4	4.9	3.7	4	4
Ancho (cm)	3.2	2.4	1.8	2.5	2.2

Fuente: Propia

Tabla 13 Datos de dimensiones y peso de muestra de rábanos con sistema de riego.

	Rábano #1	Rábano #2	Rábano #3	Rábano #4	Rábano #5
Peso (gramos)	32.1	31.6	23.4	22.7	21.6
Largo (cm)	7.5	5.3	5.2	4.9	5.5
Ancho (cm)	3.2	3.7	4.1	3.6	2.6

Fuente: Propia

Con la ayuda del software IBM SPSS Statistics se lograron obtener la media, desviación estándar y aplicar el Test de Levene. Esta información se puede visualizar en la tabla 14.

Tabla 14 Resultados obtenidos en el software IBM SPSS Statistics

	Sistema de Riego	Media	Desviación Estándar	Test de Levene para igualdad de varianzas
Peso del rábano	Sin sistema	14.26	4.72	0.436
	Con Sistema	26.28	5.13	
Largo del rábano	Sin sistema	4.4	7.2	0.692
	Con Sistema	5.68	1.0	
Ancho de rábano	Sin sistema	2.42	0.5	0.674
	Con Sistema	3.44	0.6	

Fuente: propia.

Como se puede evidenciar en cuanto a la variable peso se tienen medias cuyos valores difieren en más de 10g aproximadamente, en la variable largo y ancho se tiene una diferencia de 1.2 cm aproximadamente. Sin embargo, el Test de Levene tiene como objetivo comprobar si existe igualdad o no en las variables analizadas y de esta manera comprobar si los resultados son diferentes o no. Para esta prueba se tiene que si el valor obtenido es menor a 0.5 se comprueba que la hipótesis planteada a cerca de obtener resultados diferentes es cierta, en base a este estudio se llega a la conclusión que el sistema de riego inteligente si demuestra cambios en cuanto al peso de los rábanos obtenidos frente a los rábanos que no tenían instalado el sistema de riego inteligente.

Además, en base a la información almacenada por la aplicación en la nube se logró calcular un valor aproximado de la cantidad de agua que se suministro al cultivo la cual correspondió a 27,6 litros de agua para los 35 días. Este valor se obtuvo del registro de veces que el tanque almacenador se encontró en modo de llenado. Para realizar una comparativa frente al cultivo regado de manera manual se realizó un cálculo empírico que contemplo el

tiempo aproximado que la persona dueña del cultivo lo rego con el uso de una manguera, así con la ayuda de un balde de agua se obtuvo que la cantidad estimada fue de 38,5 litros de agua para el mismo periodo de días. Es así como mediante esta prueba realizada se pudo obtener que el ahorro de agua fue aproximadamente del 28.3%.

En base a los resultados y análisis presentados se puede evidenciar una de las aplicaciones del internet de las cosas en el área de la agricultura y además como las nuevas tecnologías impactan en procesos que en el país aún son realizados de manera empírica. En este proyecto se obtienen resultados de productividad logrando aprovechar de mejor los recursos tanto de suelo como de agua ya que los sensores instalados permiten una monitorización más precisa de la humedad que posee el cultivo y si es necesario o no regarlo, de esta manera se evita el uso excesivo del recurso hídrico.

Además de aprovechar los recursos antes mencionados también se trata de un prototipo que involucro bajos costos para su desarrollo e implementación frente a sistemas que ofrecen las mismas o menos características sin perder grado de confiabilidad que pudo ser comprobado por los resultados obtenidos.

Al tratarse de un prototipo basado en industria 4.0 el aplicativo desarrollado en la nube le permite al usuario final llevar una monitorización adecuada del estado del cultivo y además almacenar dicha información que permitirá a un futuro realizar predicciones en cuanto al comportamiento de los cultivos y del clima en diferentes épocas del año.

Conclusiones

- Se comprobó en base a los resultados obtenidos de la cosecha del cultivo de rábanos que el sistema de riego inteligente basado en tecnologías del internet de las cosas (IoT) funciona adecuadamente y cumple con características de productividad y aprovechamiento de los recursos hídricos y de suelo frente a procesos manuales.
- Se investigaron diferentes tipos de sensores de temperatura y humedad para suelo y ambiente que puedan ser utilizados en aplicaciones de agricultura urbana, actuadores y aplicativos en la nube lo cual permitió escoger las mejores herramientas que permitieran cumplir con los objetivos planteados para el presente proyecto.
- Se diseñó e implemento un módulo centralizador que se encargó de adquirir información de los sensores instalados en campo, enviar esta información a la aplicación desarrollada en la nube mediante protocolos de comunicación seguros y de manera inalámbrica para ser visualizados por el usuario final.
- Se diseñó e implemento un aplicativo en la nube que permite la visualización de la información adquirida en campo y también la activación de manera manual el sistema de riego, todo esto basado en un entorno amigable con el usuario.
- Protocolos de comunicación como lo son MQTT y HTTPS presentan características de intercambio de información seguras y permiten establecer comunicación entre un cliente y un servidor logrando de esta manera acceder de forma remota a la información alojada en el servidor.
- Debido a que el prototipo implementado se instaló en un área de pequeñas dimensiones no fue necesario el uso de comunicación inalámbrica entre los

sensores y el módulo centralizador ya que eso significaba originar gastos innecesarios para la magnitud del proyecto.

Recomendaciones

- Se recomienda instalar una antena al microcontrolador ESP32 ya que existen pequeñas desconexiones con la red de internet provocadas por el encapsulamiento del módulo dentro de la caja metálica.
- Para proyectos de implementación de mayor dimensión se recomienda hacer un estudio de la cantidad adecuada de sensores que deberán ser empleados para que la información obtenida sea la más acertada para el accionar del sistema de riego.
- En el caso de que los sensores instalados en campo se encuentren a distancias mayores a 4 metros del equipo centralizador se recomienda realizar el intercambio de información de manera inalámbrica para evitar la pérdida de datos por cableado físico.
- Se aconseja investigar la creación de alarmas dentro de la aplicación desarrollada (email o mensajes de texto) para que el usuario sea notificado en caso de presentarse alguna situación anormal y que no sea necesaria la monitorización continua del aplicativo.

Futuros trabajos

ThingSpeak permite almacenar la información adquirida por los sensores y descargarla en un archivo .CSV que podría ser usado en futuros trabajos para realizar predicciones del comportamiento del suelo y del clima y de esta manera estimar los tiempos de cultivo que podrían tener diversos productos.

Bibliografía

- Bárbara, D. (2016). La agricultura urbana: un fenómeno global. *Nueva Sociedad*, 134-146.
- Cevallos, M., & Chugá, M. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO INALÁMBRICO DE TEMPERATURA, ENERGÍA Y MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS CON ALMACENAMIENTO EN LA NUBE PARA LA EMPRESA GENTEC S.A.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cevallos, M., & Chugá, M. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO INALÁMBRICO DE TEMPERATURA, ENERGÍA Y MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS CON ALMACENAMIENTO EN LA NUBE PARA LA EMPRESA GENTEC S.A.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cevallos, M., & Chugá, M. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO INALÁMBRICO DE TEMPERATURA, ENERGÍA Y MÓDULO DE ENTRADAS/SALIDAS CON ALMACENAMIENTO EN LA NUBE PARA LA EMPRESA GENTEC S.A.* . Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Comercializadora Hydro Environment S.A. (1 de Junio de 2022). *Guia para el cultivo del rábano*. Obtenido de Hydro Environment:
https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=406
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de sistemas de riego* . Catamarca: INTA.
- Electronics Unit. (7 de Junio de 2022). *DHT22 AM2302 Sensor de Temperatura y Humedad*. Obtenido de Electronics Unit: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-dht22-am2302/>
- Electronics Unit. (11 de Marzo de 2022). *Sensor de Humedad del Suelo FC-28 Higrómetro*. Obtenido de Unit Electronics: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo-higrometro/>

- Electronics, O. (11 de Marzo de 2022). *Humidity and Temperature Sensor*. Obtenido de Mouser: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
- Gaibor, A., & Guano, M. (2012). *Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: Sur y Norte*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- García, A., Guillermo, J., Barzallo, B., Punín, C., Soto, A., & Rivas, D. (2019). Platano: Intelligent Technological Support Plataform for Azuay Province Farmers in Ecuador. *IEEE*, 1-7.
- Hernández, C. (2019). *Sistema de Riego Inteligente de Bajo Coste*. España: Universidad de la Laguna.
- Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control*. Mexico DF: Pearson.
- Lisi, C. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *PRO-SCIENCES:REVISTA DE PRODUCCION, CIENCIAS E INVESTIFACIÓN*, 25-32.
- Lozoya, R. (6 de Junio de 2022). *MODELO DE CONTROL PREDICTIVO APLICADO A SISTEMAS DE RIEGO DE PRECISIÓN*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Camilo-Lozoya/publication/263079790_Modelo_de_control_predictivo_aplicado_a_sistemas_de_riego_de_precision/links/02e7e539b1a149e7c5000000/Modelo-de-control-predictivo-aplicado-a-sistemas-de-riego-de-precision.pdf
- Lozury Tech. (19 de Junio de 2022). *Sensor de Nivel de Agua en Ángulo (ZPC1) y Vertical (ZP4510)*. Obtenido de Lozury Tech: <https://www.lozurytech.com/product-page/sensor-de-nivel-de-agua>

- MCI Electronics. (7 de Junio de 2022). *Sensor de Temperatura y Humedad Digital SHT10*.
Obtenido de MCI Electronics: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/sensor-de-temperatura-y-humedad-digital-sht10-11008>
- Méndez, M., Ramírez, L., & Alzate, A. (2005). La práctica de la agricultura urbana como expresión de emergencia de nuevas ruralidades: reflexiones en torno a la evidencia empírica. *Cuadernos de desarrollo rural*, 51-70.
- Muñoz, J. P. (2011). *Constituyente, Gobierno de transición y soberanía alimentaria en Ecuador*. Barcelona: Icaria Editorial.
- NETAFIM. (3 de Mayo de 2022). *Acerca de nosotros: NETAFIM*. Obtenido de Netafim Web site: <https://www.netafim.com/en/>
- PROMETEC. (13 de Junio de 2022). *Instalando el ESP32*. Obtenido de PROMETEC : <https://www.prometec.net/instalando-esp32/>
- Riego Ecuador. (21 de Junio de 2022). *Gotero ajustable 0 - 70 L/H*. Obtenido de Riego Ecuador: <https://www.riegoecuador.com/uploads/catalogo/1631124929.pdf>
- Robots Didácticos. (19 de Junio de 2022). *Módulos de relé y Arduino: Domótica (1)*. Obtenido de Robots Didácticos; Robótica, Automatización, Control Industrial, Microcontroladores, Electrónica Digital: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/modulos-de-rele-y-arduino-domotica-1/>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (6 de Julio de 2020). *CEDIA*. Obtenido de Blogs Cedia: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>
- SENSIRION. (11 de Mayo de 2022). *Semiconductores*. Obtenido de Amidata S.A.U: <https://es.rs-online.com/web/p/circuitos-integrados-de-sensores-de-temperatura-y-humedad/1237351>

Tejeda, A. (2018). *La Humedad en la Atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones*.

Colima: Universidad de Colima.

The Mathworks, Inc. (24 de Agosto de 2022). *Learn More: ThingSpeak*. Obtenido de

ThingSpeak Web Site: https://thingspeak.com/pages/learn_more

Tovar, J., Solórzano, J., Badillo, A., & Rodríguez, G. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 86-105.

Unit Electronics. (13 de Junio de 2022). *Valvula Solenoide 1/2 pulg Electrovalvula 12v Agua*

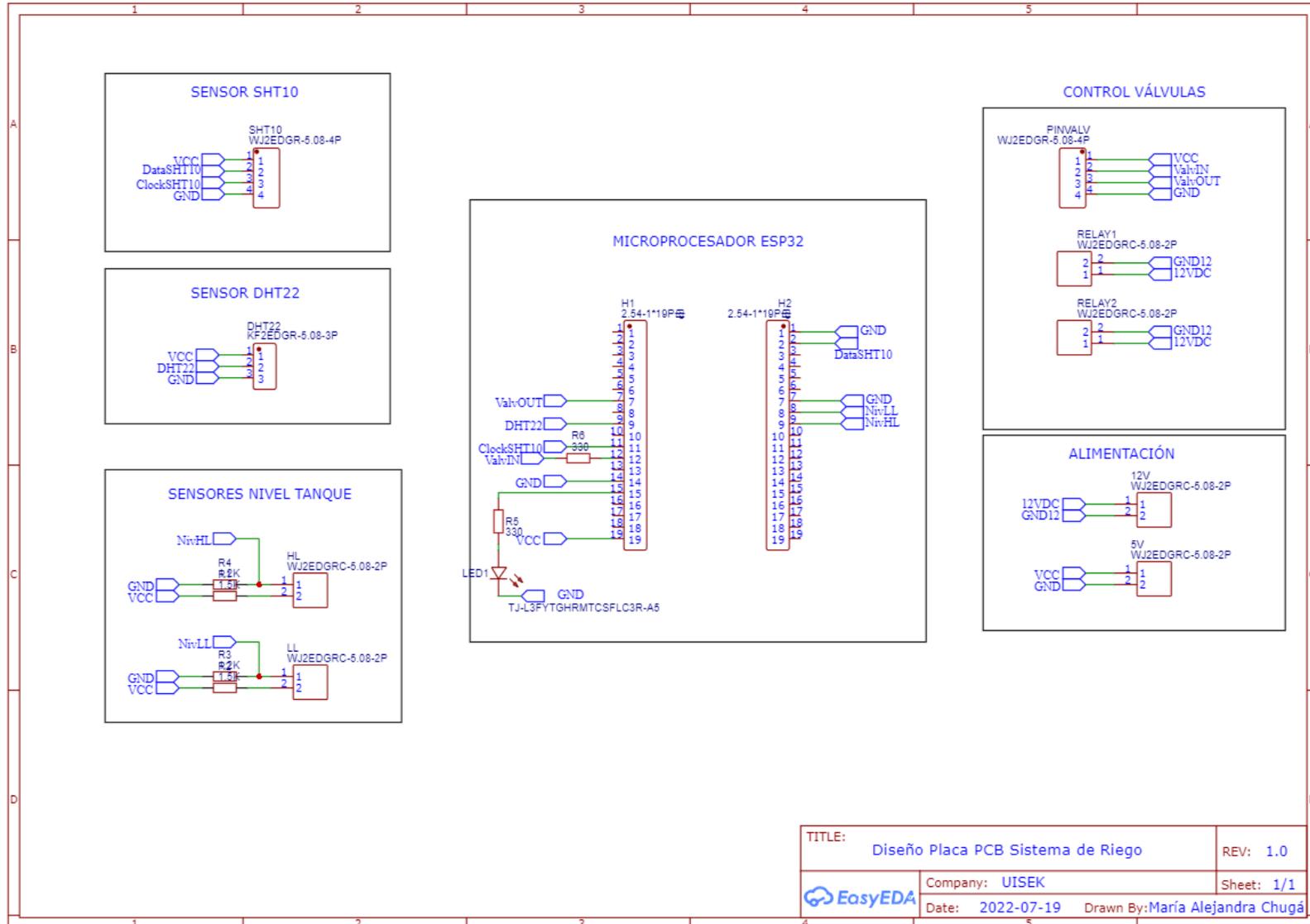
Aire. Obtenido de Unit Electronics: <https://uelectronics.com/producto/valvula-solenoide-1-2-pulg-electrovalvula-12v-agua-aire/>

Vera, J., & Guedea, M. (2020). *Internet de las Cosas*. Madrid: Reus Editorial.

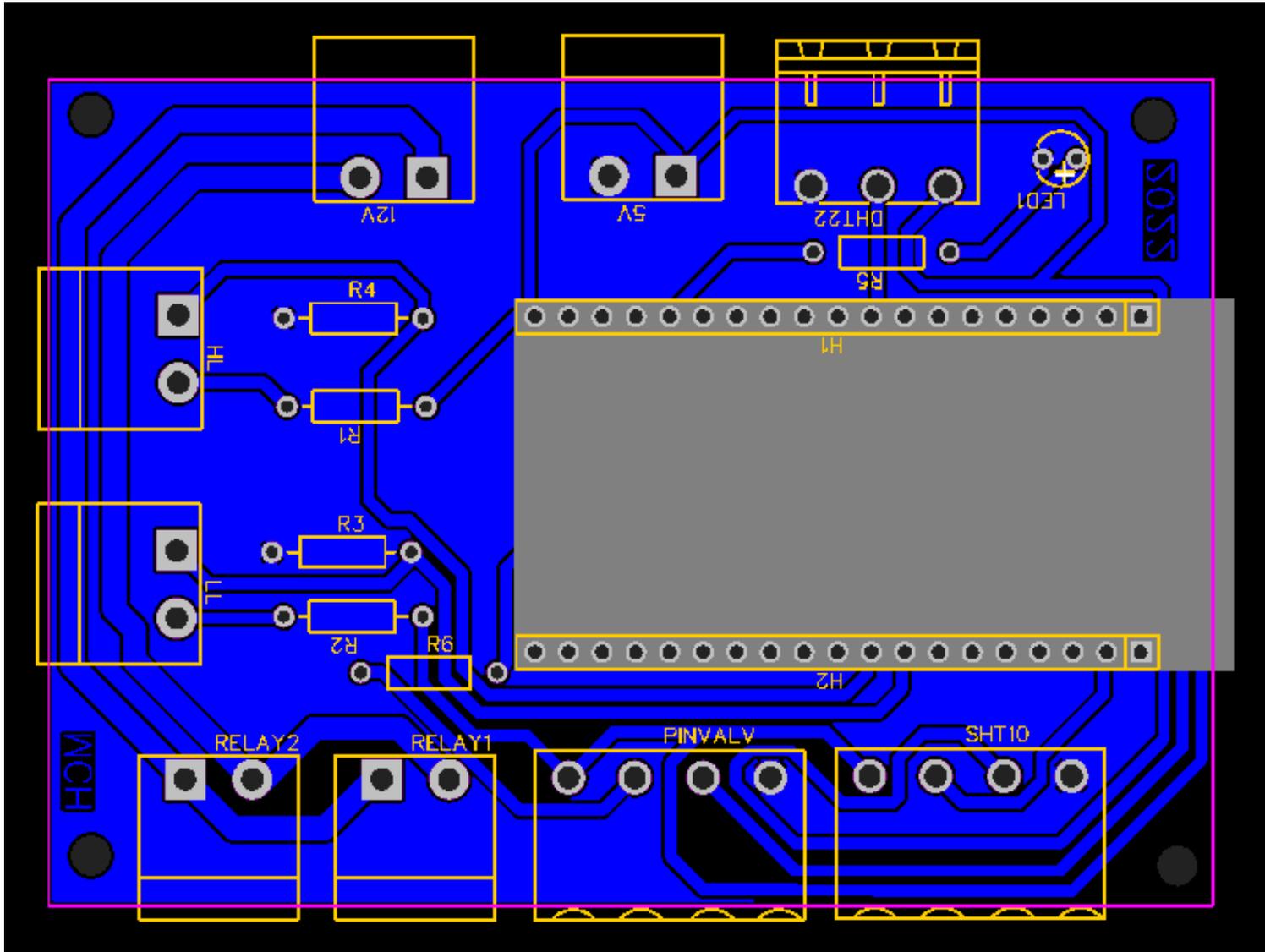
Verónica, T. (2014). Industria 4.0- Internet de las Cosas. *UTCiencia y Tecnología al servicio del pueblo* , 51-60.

Anexos

Anexo A



Anexo B



Anexo C

Código del programa

```
/////////////////////////////////Programa de Riego Inteligente para Agricultura Urbana////////////////////////////////
```

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include "ThingSpeak.h"
```

```
#include "DHT.h"
```

```
#include <SHT1x-ESP.h>
```

```
#define DHTPIN 25 // Digital pin connected to the DHT sensor
```

```
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
```

```
#define dataPin 23 //Pin de datos sensor SHT10
```

```
#define clockPin 27 //Pin de reloj sensor SHT10
```

```
#define sensorHL 18 //Pin de sensor de nivel de tanque alto
```

```
#define sensorLL 19 //Pin de sensor de nivel de tanque bajo
```

```
#define valvIN 14 //Pin de activación de válvula de llenado de tanque
```

```
#define valvOUT 32 //Pin de activación de válvula de salida de tanque
```

```
#define pinLED 13 //Pin de activación de LED de conexión WIFI
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
SHT1x sht1x(dataPin, clockPin);
```

```
const char* ssid = "Netlife-Cabas"; // nombre de la red de internet
```

```
const char* password = "CV19932052040"; // contraseña de la red de internet
```

```
WiFiClient client;
```

```
unsigned long myChannelNumber = 1;
```

```
unsigned long channel = 1788321;
```

```
const char * myWriteAPIKey = "VXHF9JNAY48YNR44";
```

```
const char * myReadAPIKey = "K6ER4PQH2YJ7IFD1";
```

```
// Timer variables
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay =5000;

int nivelAlto = 0;
int nivelBajo = 0;
int riegoON = 0;
int llenadoON = 0;
int refHumedad = 60;
int frec = 1;
//float error = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Initialize serial
  dht.begin();
  pinMode(sensorHL,INPUT);
  pinMode(sensorLL,INPUT);
  pinMode(valvIN,OUTPUT);
  pinMode(valvOUT,OUTPUT);
  pinMode(pinLED,OUTPUT);
  int inicialValv = 1;
  digitalWrite(valvIN,inicialValv);
  digitalWrite(valvOUT,inicialValv);
  digitalWrite(pinLED,LOW);

  WiFi.mode(WIFI_STA);
  ThingSpeak.begin(client); // Inicializar ThingSpeak
}

void loop() {
  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) {
    // Connect or reconnect to WiFi
    if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
```

```

Serial.print("Attempting to connect");
while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
  WiFi.begin(ssid, password);
  digitalWrite(pinLED, HIGH);
  delay(1000);
}
Serial.println("\nConnected.");
}

float t = dht.readTemperature();
float h = dht.readHumidity();
float temp_c = sht1x.readTemperatureC(); //Lectura de temperatura en grados centigrados SHT
float humidity = sht1x.readHumidity(); //Lectura de humedad

float kt = 0.03114*t+0.2396;
float Eto = frec+kt;

float error = humidity - refHumedad;
float riego = error-Eto;

nivelAlto = digitalRead(sensorHL);
nivelBajo = digitalRead(sensorLL);

int boton = ThingSpeak.readFloatField(1788321, 7);

if (nivelBajo == 1 && nivelAlto == 0){
  digitalWrite (valvIN,HIGH);
  llenadoON = 1;
  Serial.println("Tanque se esta llenando");
}else if (nivelAlto == 1 && nivelBajo == 0){
  digitalWrite (valvIN, LOW);
  llenadoON = 0;
  Serial.println("Tanque NO se esta llenando");
}

```

```
if (riego <= 0.0 || boton == 1){
    digitalWrite(valvOUT,HIGH);
    riegoON = 1;
    Serial.println("Riego Activado");
}else {
    digitalWrite (valvOUT, LOW);
    Serial.println("Riego Desactivado");
    riegoON = 0;
}

ThingSpeak.setField(1,t);
ThingSpeak.setField(2,h);
ThingSpeak.setField(3,temp_c);
ThingSpeak.setField(4,humidity);
ThingSpeak.setField(5,riegoON);
ThingSpeak.setField(6,llenadoON);

// Escribir en ThingSpeak
int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

if(x == 200){
}
else{
}
lastTime = millis();
}
}
```

Anexo D

Resultados obtenidos en el software BMI SPSS Stastics.

T-Test

Group Statistics					
	Con sistema de riego o no	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Peso del rabano	sin sistema	5	14.2600	4.72419	2.11272
	con sistema	5	26.2800	5.12806	2.29334
Largo del rabano	sin sistema	5	.4400	.07176	.03209
	con sistema	5	.5680	.10402	.04652
Ancho del rabano	sin sistema	5	.2420	.05119	.02289
	con sistema	5	.3440	.05683	.02542

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-Test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Significance		Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
						One-Sided p	Two-Sided p			Lower	Upper
Peso del rabano	Equal variances assumed	.673	.436	-3.855	8	.002	.005	-12.02000	3.11817	-19.21052	-4.82948
	Equal variances not assumed			-3.855	7.947	.002	.005	-12.02000	3.11817	-19.21891	-4.82109
Largo del rabano	Equal variances assumed	.169	.692	-2.265	8	.027	.053	-.12800	.05652	-.25832	.00232
	Equal variances not assumed			-2.265	7.104	.029	.057	-.12800	.05652	-.26124	.00524
Ancho del rabano	Equal variances assumed	.190	.674	-2.982	8	.009	.018	-.10200	.03421	-.18088	-.02312
	Equal variances not assumed			-2.982	7.914	.009	.018	-.10200	.03421	-.18103	-.02297

Independent Samples Effect Sizes

		Standardizer ^a	Point Estimate	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
Peso del rabano	Cohen's d	4.93026	-2.438	-4.107	-.693
	Hedges' correction	5.46167	-2.201	-3.707	-.625
	Glass's delta	5.12806	-2.344	-4.294	-.306
Largo del rabano	Cohen's d	.08936	-1.432	-2.818	.020
	Hedges' correction	.09899	-1.293	-2.544	.018
	Glass's delta	.10402	-1.231	-2.669	.306
Ancho del rabano	Cohen's d	.05408	-1.886	-3.386	-.312
	Hedges' correction	.05991	-1.702	-3.056	-.282
	Glass's delta	.05683	-1.795	-3.469	-.021

Anexo E

E1: Hoja de datos ESP32

1 Overview

1 Overview

ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth combo chip designed with the TSMC ultra-low-power 40 nm technology. It is designed to achieve the best power and RF performance, showing robustness, versatility and reliability in a wide variety of applications and power scenarios.

The ESP32 series of chips includes ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH, ESP32-S0WD, ESP32-D0WDQ6-V3 (NRND), ESP32-D0WD (NRND), and ESP32-D0WDQ6 (NRND), among which, ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDR2-V3, ESP32-U4WDH, and ESP32-D0WDQ6-V3 (NRND) are based on ECO V3 wafer.

For details on part numbers and ordering information, please refer to Section 7.

For details on ECO V3 instructions, please refer to [ESP32 ECO V3 User Guide](#).

1.1 Featured Solutions

1.1.1 Ultra-Low-Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet-of-Things (IoT) applications. It features all the state-of-the-art characteristics of low-power chips, including fine-grained clock gating, multiple power modes, and dynamic power scaling. For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically only when a specified condition is detected. Low-duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output of the power amplifier is also adjustable, thus contributing to an optimal trade-off between communication range, data rate and power consumption.

Note:

For more information, refer to Section 3.7 *RTC and Low-Power Management*.

1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is a highly-integrated solution for Wi-Fi-and-Bluetooth IoT applications, with around 20 external components. ESP32 integrates an antenna switch, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, while also integrating advanced calibration circuitries that allow the solution to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions. As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi testing equipment.

1.2 Wi-Fi Key Features

- 802.11 b/g/n
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- WMM
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU

- Immediate Block ACK
- Defragmentation
- Automatic Beacon monitoring (hardware TSF)
- 4 × virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous support for Infrastructure Station, SoftAP, and Promiscuous modes
Note that when ESP32 is in Station mode, performing a scan, the SoftAP channel will be changed.
- Antenna diversity

Note:

For more information, please refer to Section 3.5 *Wi-Fi*.

1.3 Bluetooth Key Features

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specifications
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced Power Control
- +9 dBm transmitting power
- NZIF receiver with -94 dBm Bluetooth LE sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High-speed UART HCI, up to 4 Mbps
- Bluetooth 4.2 BR/EDR Bluetooth LE dual mode controller
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/eSCO)
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet
- Multi-connections in Classic Bluetooth and Bluetooth LE
- Simultaneous advertising and scanning

1.4 MCU and Advanced Features

1.4.1 CPU and Memory

- Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s)
- CoreMark® score:
 - 1 core at 240 MHz: 504.85 CoreMark; 2.10 CoreMark/MHz
 - 2 cores at 240 MHz: 994.26 CoreMark; 4.14 CoreMark/MHz
- 448 KB ROM

- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC
- QSPI supports multiple flash/SRAM chips

1.4.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/Bluetooth functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog

1.4.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 34 × programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × I2S
- 2 × I2C
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- TWAI[®], compatible with ISO 11898-1 (CAN Specification 2.0)
- RMT (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor

1.4.4 Security

- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers

E2: Hoja de datos DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

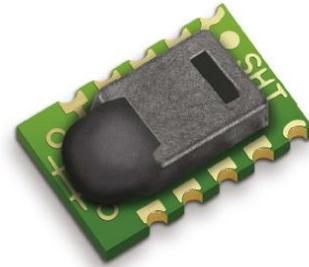
Model	DHT22	
Power supply	3.3-6V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH);	temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH	
Long-term Stability	+-0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	small size 14*18*5.5mm;	big size 22*28*5mm

E3: Hoja de datos SHT10

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor IC

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

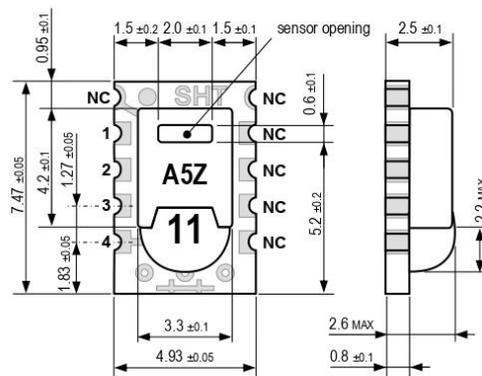


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides the humidity and temperature sensors the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application (data logging) of the sensor there is an evaluation kit *EK-H4* available including SHT71 (same sensor chip as SHT1x) and 4 sensor channels, hard and software to interface with a computer. For other evaluation kits please check www.sensirion.com/humidity.

E4: Hoja de datos relés 12Vdc

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03、05、06、09、12、24、48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B
				C:1 form C

4. RATING

CCC FILE NUMBER: CQC03001003731 10A/250VDC
 UL /CUL FILE NUMBER: E167996 10A/125VAC 28VDC
 TUV FILE NUMBER: R 50056114 10A/250VAC 30VDC

5. DIMENSION(unit:mm) DRILLING(unit:mm) WIRING DIAGRAM

