

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO PARA CULTIVOS CÍTRICOS BAJO EL CONCEPTO IOT

Willy Alejandro Cortes Lozano, Juan Carlos García Rubio

1. Ingeniería Electrónica, Universidad de Ibagué. Estudiante. INNOVAGRO, Ibagué, Colombia.
w.illy320@hotmail.com
2. Ingeniero Electrónico, GI Senagrotic, Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima – Tecnoparque Tolima. Espinal – Tolima, Colombia. jucgarcia@sena.edu.co

RESUMEN

Los sistemas de riego para cultivos son un mecanismo conformado por una serie de estructuras, las cuales permiten el transporte de líquidos para suplir los recursos necesarios para los cultivos. Hoy en día un sistema de riego autosostenible beneficia a la comunidad agrícola en costos, tiempo y reducción del impacto ambiental. Este proyecto tiene como objetivo facilitar el control y supervisión del cultivo al agricultor en épocas de sequía o de situaciones críticas para garantizar un efectivo y correcto desarrollo de cultivos de cítricos. Además, reducir costos por mano la intervención de la mano de obra humana.

El desarrollo del sistema automatizado consta de un controlador ESP32-WROOM-32U para el control electrónico, el cual se compone por un conjunto de sensores para la recolección de datos sobre el cultivo. Estos datos son procesados por medio del controlador programado, dando respuesta por medio de actuadores como electrobombas y electroválvulas, los cuales son conectados al sistema del suministro hídrico para el riego. Para el sistema de control automatizado es necesario e importante llevar el control base a las especificaciones técnicas de la planta que compone al cultivo cítrico para mantener el cultivo en óptimas condiciones ambientales del terreno, garantizando un cultivo sano y de calidad.

Estas especificaciones se almacenan en memoria dependiendo el tipo del cultivo cítrico, en donde se especifica la temperatura adecuada de la planta, la humedad máxima y mínima y la intensidad de luz permitida que este debe recibir. Éstos datos son proyectados mediante una LCD. Además, permite la conexión a internet para permitir al usuario pueda monitorear el cultivo en tiempo real desde cualquier parte del país mediante una aplicación móvil y página en computadoras.

Palabras Claves:

Cultivo, Cítricos, Controlador, Automatización, IOT, Sensado.

ABSTRACT

Irrigation systems for crops are a mechanism composed of a series of structures that allow the transport of liquids to supply the necessary resources to the crops. Today a self-sustaining irrigation system benefits the agricultural community in costs, time and reduction of environmental impact. This project aims to facilitate the control and supervision of the crop for the farmer in times of drought or critical situations to guarantee effective and correct development of citrus crops. In addition, reducing costs due to human labor intervention.

The development of the automated system consists of an ESP32-WROOM-32U controller for electronic control, which is composed of a set of sensors for collecting crop data. This data is processed through the programmed controller, responding through actuators such as electric pumps and solenoid valves, which are connected to the water supply system for irrigation. For the automated control system, it is necessary and important to carry out a control based on the technical specifications of the plant that makes up the citrus crop to maintain the crop in optimal environmental conditions of the land, guaranteeing a healthy and quality harvest.

These specifications are stored in memory depending on the type of citrus crop, where the appropriate temperature of the plant, the maximum and minimum humidity and the permitted light intensity that it must receive are specified. This data is projected using an LCD screen. In addition, it allows internet connection to allow the user to monitor the crop in real time from anywhere in the country through a mobile application and a computer page.

Keywords: Crop, Citrus, Controller, Automation, Sensing.



INTRODUCCIÓN

La agricultura ecológica, orgánica y biológica son procesos que pueden ser usados en contra del cambio climático ya que en estos modelos no se hace uso de productos químicos ni pesticidas, se implementa al máximo el uso de energías renovables, se emplean la rotación de cultivos, se preserva la biodiversidad y se mejora la fertilidad de los suelos [1].

El agua es un factor muy importante para los cultivos, por eso mismo se debe tener una correcta distribución de esta junto con los nutrientes necesarios para las plantas. De acuerdo con lo anterior, se procede a hacer una evaluación química de los sustratos, para que estos tengan una buena absorción de los nutrientes es necesario tener un pH óptimo. Para garantizar una efectividad de que esto se cumpla, se pueden usar dispositivos que distribuyen de manera uniforme el agua y sus nutrientes teniendo como resultado un mejor desarrollo del cultivo [2].

El efecto positivo de los sistemas de riego se ve directamente reflejado tanto en el ámbito social como económico, ya que genera empleo y la posibilidad a las personas de obtener productos provenientes de cultivos de alta calidad para así aumentar sus posibilidades de ingreso al mercado. Sin embargo, el impacto ambiental de los sistemas de riego debe ser considerado un aspecto a mejorar, con el fin de potenciar aspectos visuales y culturales de algunas zonas. Un ejemplo de contribución con el medio ambiente y de minimización de impactos negativos es el ahorro considerable del consumo de agua [3].

El cultivo de cítricos presenta determinadas necesidades, en referencia a las condiciones del suelo y clima en las cuales se desarrolla y produce mejor. Aunque teóricamente estas se conocen, e incluso son numeradas en forma casi precisa por diferentes autores y/o tratados. En la práctica no se encuentran reunidas todas en el sitio en donde se desea establecer la plantación. Esto no significa que no pueda cultivarse en aquellas localidades que posean una o más características diferentes a las consideradas como las óptimas para el cultivo, lo cual ocurre con frecuencia, pero cuanto más se aproximen las condiciones presentes a las necesidades teóricas específicas, se incrementan las posibilidades de éxito [4].

El sistema de riego determina el éxito o el fracaso de un cultivo cítrico. En Colombia se presenta escasez de lluvia, lo cual causa pérdidas significativas en el sector agropecuario, el riego permite que las plantas mantengan un flujo constante de agua y nutrientes del suelo hacia las hojas, favoreciendo la fotosíntesis y la transpiración, por esto se obtienen árboles más productivos y con mejores frutos. Las plantas cítricas presentan una ventaja con respecto a los demás cultivos, ya que se pueden adaptar a cualquier tipo de clima, aunque se considera que la temperatura ideal varía entre los veinte y treinta grados centígrados para que las plantas tengan un correcto desarrollo, ya que los cítricos son plantas perennes, ellas transpiran todo el año, por ende, la cantidad de agua que requieren para su correcto desarrollo es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración por las hojas [5].

ESTADO DEL ARTE

Sistemas de riego

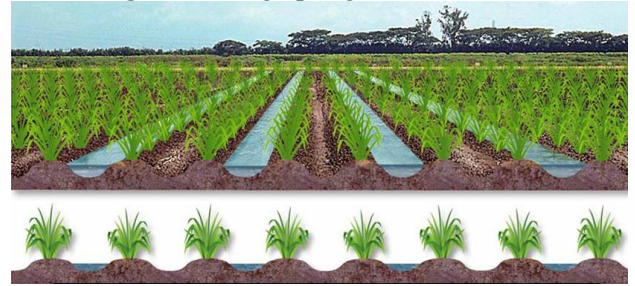
La implementación de los sistemas de riego en la agricultura es una práctica común en todo el mundo. Los sistemas de riego son una forma eficiente de proporcionar agua a los cultivos, especialmente en áreas donde la precipitación es limitada. Existen diferentes tipos de sistemas de riego que se utilizan en la agricultura, cada uno con sus propias ventajas y desventajas.

• Riego por gravedad

El riego por gravedad es uno de los sistemas de riego más antiguos y simples. En este método, el agua se suministra a través de canales o surcos que se construyen en la superficie del suelo, tal como se ilustra en la figura 1. El agua fluye por gravedad desde la fuente de suministro y se distribuye a los cultivos. Este sistema de riego es adecuado para terrenos planos y no requiere energía adicional para su funcionamiento. Sin embargo, el riego por gravedad es ineficiente y puede llevar a una pérdida significativa de agua debido a la evaporación y la filtración del suelo [6].

Una de las principales ventajas del riego por gravedad es su bajo costo. A diferencia de otros métodos de riego, como el riego por aspersión o el riego por goteo, el riego por gravedad no requiere equipos costosos. En cambio, se utiliza la gravedad para llevar el agua desde una fuente de suministro hasta los cultivos. Además, el riego por gravedad es un método de riego de baja tecnología que es fácil de mantener y reparar. Sin embargo, el riego por gravedad también tiene algunas desventajas. Una de las principales desventajas es que el agua no se distribuye uniformemente en los campos del cultivo. A medida que el agua se mueve por los canales de riego, algunos sectores reciben más agua que otros, lo que puede resultar en un uso ineficiente del agua y una menor producción del cultivo. Además, el riego por gravedad requiere un terreno relativamente plano para que funcione correctamente, lo que puede limitar su uso en algunas áreas.

Figura 1. Riego por gravedad con surcos.



Fuente: Cenicaña (6-Abr-2015)-

• Riego por aspersión

El riego por aspersión es otro tipo de sistema de riego comúnmente utilizado en la agricultura. En este método, el agua se suministra a través de tuberías con boquillas que rocían el agua sobre los cultivos, tal como se ilustra en la figura 2. Este sistema de riego es adecuado para áreas con terrenos irregulares y puede proporcionar una distribución uniforme del agua. Sin embargo, el riego por aspersión puede ser costoso y puede requerir una cantidad significativa de energía para su funcionamiento [6].

El riego por aspersión ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de irrigación, como el riego por surcos y el riego por goteo. En primer lugar, el riego por aspersión es más eficiente que el riego por surcos, ya que reduce la evaporación del agua y minimiza la pérdida de agua por filtración. En segundo lugar, el riego por aspersión es más económico que el riego por goteo, ya que requiere menos equipo y menos mano de obra [7].

Aunque el riego por aspersión tiene varias ventajas, también presenta algunos inconvenientes. En primer lugar, el riego por aspersión puede aumentar la erosión del suelo debido al impacto del agua sobre la superficie del suelo. En segundo lugar, el riego por aspersión puede aumentar la incidencia de enfermedades fúngicas y bacteriana en las plantas debido a la humedad constante en las hojas. A pesar de los inconvenientes, el riego por aspersión sigue siendo una técnica de irrigación popular. En un estudio realizado en España, se encontró que el riego por aspersión fue la técnica de irrigación más utilizada en las áreas agrícolas estudiadas, representando el 80% del total de la superficie regada [8].

Figura 2. Riego por aspersión.



Fuente: PortalFrutícola (20-Mar-2020).

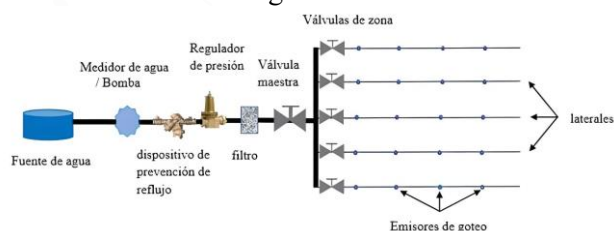
• Riego por goteo

El riego por goteo es un tipo de sistema de riego que es cada vez más popular en la agricultura. En este método, el agua se suministra a través de tuberías que entregan pequeñas cantidades de agua directamente a las raíces de los cultivos. Este sistema de riego es altamente eficiente y puede reducir significativamente la cantidad de agua necesaria para los cultivos, estructura de un sistema de riego por goteo ilustrada en la figura 3. El riego por goteo también puede mejorar la calidad de los cultivos y reducir la proliferación de enfermedades debido a la menor cantidad de agua en la superficie de los cultivos. Sin embargo, el riego por goteo puede ser costoso y requiere una inversión inicial significativa [6].

El impacto del riego por goteo en la agricultura y el medio ambiente es significativo. En la agricultura, el riego por goteo se ha utilizado con éxito en una variedad de cultivos, desde hortalizas hasta árboles frutales. Además, la técnica también se ha utilizado para mejorar la productividad y el rendimiento de los cultivos en condiciones de sequía. Un estudio realizado en la India encontró que el uso del riego por goteo en el cultivo de algodón mejoró el rendimiento del cultivo en un 50%, redujo el consumo de agua en un 45% y redujo la cantidad de fertilizantes utilizados en un 30%. Además, el riego por goteo también puede reducir significativamente el impacto ambiental de la agricultura, al reducir la contaminación del agua y la erosión del suelo. Esto se debe a gran parte al hecho de que el agua se suministra directamente a las raíces de las plantas, lo que reduce la cantidad de agua que se escurre y

reduce la carga de nutrientes y pesticidas en los cuerpos de agua cercanos. Además, el riego por goteo también puede reducir la erosión del suelo al reducir la cantidad de agua que escurre, lo que a su vez reduce la cantidad de sedimentos que se depositan en los cuerpos de agua cercanos [9].

Figura 3. Esquema de un sistema de riego por goteo.



Fuente: Haimanote K. Bayabil, UF/IFAS.

Automatización de sistemas de riego

La automatización de un sistema de riego es un proceso que implica el uso de tecnologías modernas para controlar y monitorear la cantidad y frecuencia del riego. Este proceso es vital para la agricultura moderna, ya que permite mejorar la eficiencia en el uso del agua y reducir los costos de producción.

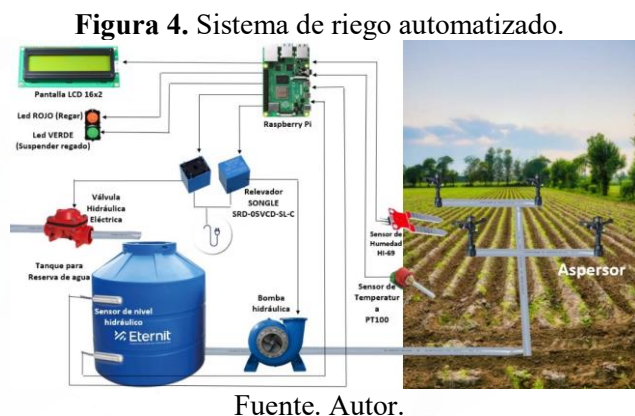
En primer lugar, la automatización de un sistema de riego tiene numerosos beneficios para la agricultura. Algunos de estos beneficios incluyen una mejor utilización del agua, una reducción en el consumo de energía, una mejora en la calidad del cultivo y una mayor productividad en general. Por ejemplo, un estudio realizado en España encontró que el uso de riego automatizado mejoró la eficiencia del uso del agua en un 25% y redujo el consumo de energía en un 50% [10]. Además, la automatización de un sistema de riego puede mejorar la calidad del cultivo y aumentar su producción. Un estudio realizado en Brasil encontró que el uso de un sistema automatizado mejoró la calidad del cultivo de lechuga y redujo los costos de producción en un 30% [11].

La automatización de un sistema de riego también puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. La sobreexplotación de los recursos hídricos puede tener un impacto negativo en el medio ambiente y la biodiversidad. Por lo tanto, es importante implementar tecnologías de riego sostenibles y eficientes para reducir este impacto negativo [12].

Uno de los componentes más importantes en un sistema de riego automatizado son los sensores, los cuales son utilizados para medir variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y la velocidad del viento. La información recolectada por los sensores es utilizada para ajustar la cantidad de agua aplicada y mejorar la eficiencia del sistema de riego. Un estudio realizado por Zhang (2015), encontró que la implementación de sensores de humedad del suelo redujo el uso del agua en un 20-30% en comparación con el riego convencional.

Otro componente importante en un sistema de riego automatizado son los controladores, los cuales son utilizados para procesar la información recolectada por los sensores y tomar decisiones en tiempo real sobre la cantidad de agua que debe ser aplicada. Un estudio realizado encontró que la implementación de un controlador de riego basado en un modelo de red neuronal mejoró la eficiencia del riego en un 40-60%.

Finalmente, las válvulas son otro componente importante en un sistema de riego automatizado, ya que son utilizadas para controlar el flujo de agua hacia las diferentes áreas del campo [13]. Un sistema de riego totalmente automatizado se asemeja al ilustrado en la figura 4.

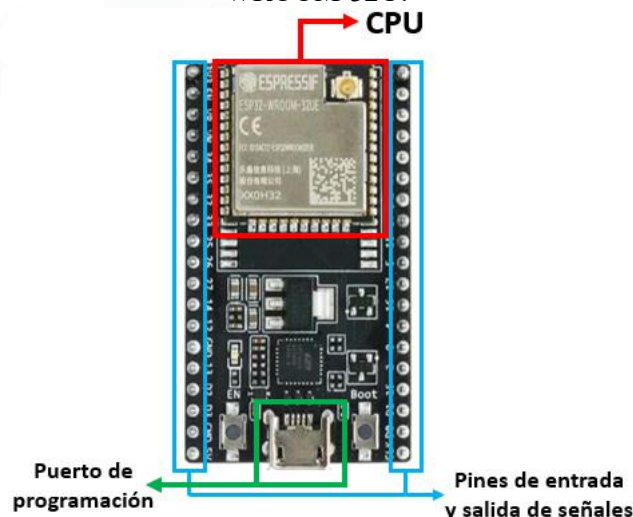


Controladores

Los controladores electrónicos son dispositivos que se utilizan para regular y controlar el funcionamiento de sistemas y procesos en la industria. Estos controladores son capaces de recibir señales de entrada, procesarlas y enviar señales de salida para controlar dispositivos y sistemas, con el fin de mejorar la eficiencia, la precisión y la fiabilidad de los procesos industriales [14].

La mayoría de los controladores se dividen en tres partes principales, la entrada, la unidad de procesamiento central (CPU) y la salida, como se ilustra en la figura 5 en un ESP32-WROOM-32U. La entrada es la parte del controlador que recibe la información del mundo exterior y la convierte en una señal digital que la CPU puede procesar. La CPU es la parte del controlador que toma decisiones basadas en la información de entrada y envía señales de salida a la parte de salida del controlador [15].

Figura 5. Controlador y sus partes en ESP32-WROOM-32U.



Sensores

Los sensores son dispositivos que convierten las señales físicas en señales eléctricas que se pueden medir y procesar. Estos dispositivos son fundamentales para la automatización de procesos y sistemas, y su implementación extiende una amplia variedad de aplicaciones, desde la medición de temperatura y presión hasta la detección de movimiento y la monitorización ambiental [16].

Tipos de sensores

Uno de los sensores mas comunes es el sensor de temperatura, que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control del clima en edificios hasta la medición de la temperatura en procesos industriales. Los sensores de temperatura pueden ser de contacto o sin contacto, y pueden utilizar métodos para medir la temperatura, como termistores, termopares y termómetros infrarrojos [16].

- **Sensores de temperatura de contacto:** Un sensor de temperatura de contacto es un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un objeto o superficie en contacto directo con el sensor, sensor comercial ilustrado en la figura 6. Este tipo de sensor funciona midiendo la transferencia de calor desde el objeto o superficie en contacto con el sensor hacia el propio sensor. Algunos sensores de contacto utilizan termopar, que es un tipo de dispositivo que produce una pequeña corriente eléctrica en respuesta a una diferencia de temperatura. Otros sensores de contacto utilizan termistores, que son dispositivos que cambian su resistencia eléctrica en respuesta a cambios en la temperatura.

Figura 6. Sensor de temperatura de contacto DS18B20 sonda.

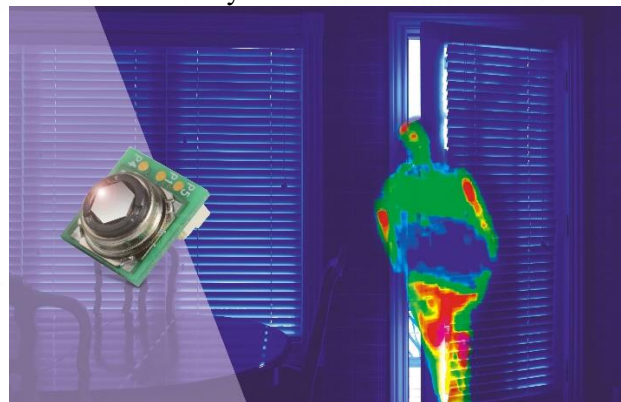


Fuente: ElectroniLab.

- **Sensor de temperatura sin contacto:** Un sensor de temperatura sin contacto es un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un objeto o superficie sin necesidad de entrar en contacto directo con él, prototipo del sensor ilustrado en la figura 7. Estos sensores miden la radiación

infrarroja que emite un objeto y utilizan esta información para determinar su temperatura.

Figura 7. Sensor de temperatura sin contacto de muy alta sensibilidad.

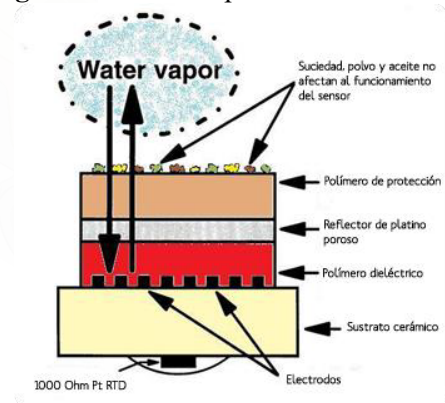


Fuente: Omron Electronic Components (07-Aug-2017).

Los sensores de humedad se utilizan para medir la cantidad de humedad en el aire o en los materiales y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de la humedad en edificios hasta la monitorización de la humedad en procesos industriales. Estos sensores pueden ser de diferentes tipos, como sensores de capacitancia y sensores de resistencia [17].

- **Sensores de humedad de capacitancia:** Los sensores de humedad de capacitancia funcionan midiendo la capacidad de un material para almacenar carga eléctrica, sistema de operación ilustrado en la figura 8. Estos sensores están compuestos por dos placas de metal separadas por un material dieléctrico. Cuando el aire que contiene humedad se mueve a través de este espacio, la humedad se condensa en las placas de metal, lo que aumenta la capacitancia del sensor.

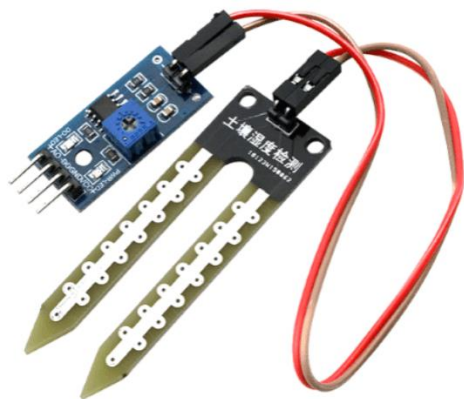
Figura 8. Sensor capacitivo de humedad.



Fuente: Sensorstecnics & Semiconductors (2023).

- Sensores de humedad de resistencia: Los sensores de humedad de resistencia se basan en la propiedad de ciertos materiales de cambiar su resistencia eléctrica en función de la humedad relativa en el ambiente, sensor comercial ilustrado en la figura 9. Estos sensores están compuestos por un material sensible a la humedad, como la cerámica, que se coloca en un circuito eléctrico.

Figura 9. Sensor resistador de humedad.



Fuente: Guía de Mecatrónica, (13-Jan-2020).

Los sensores de luz ultravioleta funcionan midiendo la cantidad de radiación UV presente en un área determinada. El sensor contiene un material sensible a la luz, como el silicio, que convierte la radiación UV en una señal eléctrica. Esta señal se amplifica y se procesa para producir una lectura numérica que indica la intensidad de la radiación UV. Los sensores de luz ultravioleta tienen una variedad de aplicaciones y de un tamaño relativamente pequeño, como se ilustra en la figura 10. En la industria, se utilizan para medir la intensidad de la radiación UV en las plantas de tratamiento de agua, en las plantas

de producción de alimentos y en la industria textil. En el campo de la medicina, se utilizan para medir la exposición a la radiación UV en la piel y para ayudar en el diagnóstico de enfermedades de la piel. También se utilizan en la investigación científica para estudiar el impacto de la radiación UV en el medio ambiente y en los seres vivos. Pueden ser de tipo banda ancha y banda estrecha [17].

- Sensores de luz ultravioleta de banda ancha: Tienen la capacidad de medir la radiación UV en un rango amplio de longitudes de onda.
- Sensores de luz ultravioleta de banda estrecha: Miden la radiación en un rango específico de longitudes de onda.

Figura 10. Sensor de detección UV.



Fuente: Wiltronics Research Pty. Ltd. ABN 26 052 173 154.

Actuadores

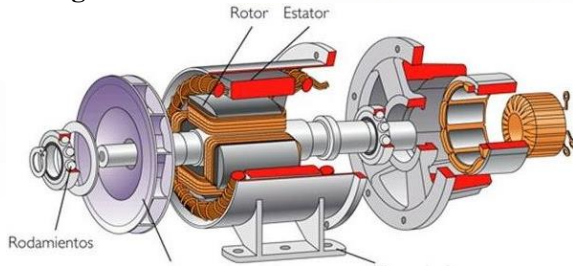
Los actuadores son dispositivos que convierten una señal de entrada en una acción física en un sistema automatizado. Estos son esenciales en la automatización y control de procesos en una amplia variedad de campos, desde una industria manufacturera hasta la robótica [18].

Tipos de actuadores eléctricos

Existen varios tipos de actuadores eléctricos, cada uno diseñado para realizar una tarea específica. Entre ellos se encuentran:

- Motores eléctricos: Estos son los actuadores más comunes en la industria. Convierten la energía eléctrica en mecánica y se utilizan para impulsar todo tipo de maquinarias, desde ventiladores hasta electrobombas. Esquema de un motor eléctrico ilustrado en la figura 11.

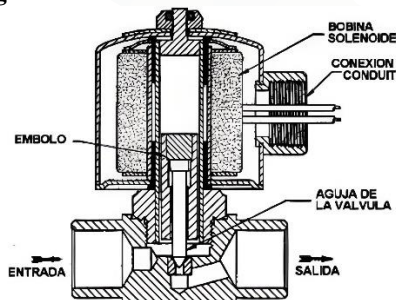
Figura 11. Estructura del motor eléctrico.



Fuente: Areatecnología Edinorugi (2019).

- **Solenoides:** Estos actuadores utilizan un campo magnético generado por una corriente eléctrica para mover un pistón o una válvula. Son utilizados en sistemas de control de fluidos y en dispositivos de seguridad. Estructura interna de un solenoide ilustrada en la figura 12.

Figura 12. Estructura de un solenoide.



Fuente: Válvulas ARCO (02-Mar-2020).

Protocolos de comunicación industrial IOT

Estas redes de control industrial son fundamentales para el control y supervisión de procesos industriales y su implementación adecuada puede mejorar la eficiencia y seguridad en la producción.

• Ethernet/IP

Ethernet/IP es una tecnología de red que combina la funcionalidad de Ethernet y del protocolo de comunicación industrial CIP (Common Industrial Protocol). Este protocolo se utiliza comúnmente en aplicaciones de automatización industrial para comunicar dispositivos de control y supervisión. Ethernet/IP se basa en Ethernet, que es un estándar de red ampliamente utilizado para la comunicación de datos en todo el mundo. El protocolo utiliza paquetes Ethernet para la transmisión de datos y se utiliza principalmente en aplicaciones industriales. El protocolo CIP se ejecuta en la capa de aplicación de Ethernet y

proporciona la funcionalidad necesaria para la comunicación de dispositivos [19].

Ethernet/IP utiliza un modelo de comunicación cliente-servidor para la comunicación de dispositivos. En este modelo, un dispositivo se configura como servidor y otros dispositivos se comunican con él como clientes. El servidor proporciona información a los clientes y también puede recibir información de otros clientes.

RESULTADOS

Las características del dispositivo seleccionadas para su diseño se ajustan de acuerdo a las dimensiones del terreno y a la necesidad del usuario. Las características de diseño se ilustran en la tabla 1.

Tabla 1. Ficha técnica del sistema de riego automatizado.

Sistema inteligente de riego		
Municipio:	San Luis.	
Dirección:	Finca El Diamante.	
Tamaño del terreno:	Media hectárea de terreno.	
Distribución del terreno:	Dos sectores.	
Fuente hídrica:	Aljibe con capacidad de diez mil litros de agua.	
Tipo de riego:	Microaspersión.	
Parámetros electrónicos		
Controlador electrónico:	ESP32-WROOM-32U.	
Protocolo de comunicación IOT:	Ethernet/IP.	
Registro de parámetros de operación:	En memoria.	
Monitoreo:	Pantalla LCD, App móvil y página web.	
Sensado de variables de entrada		
Variable	Sensor	Aplicación
Temperatura	DS18B20	Toma lectura de la temperatura de la tierra en un punto específico del cultivo.
Humedad	YL-69	Toma lectura de la humedad de la tierra en un punto

		específico del cultivo.
Luz ultra violeta	TSL2561	Mide la intensidad de rayos ultravioleta que incide sobre el cultivo y es ubicado en un punto específico del cultivo.
Nivel de agua	Vertical 22mm	Mide el nivel de agua de reserva para la operación del sistema

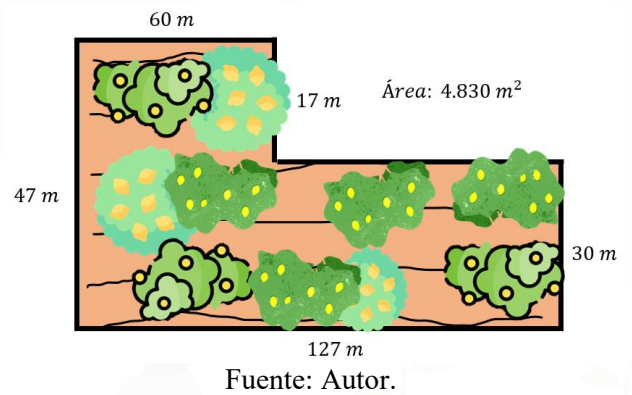
Actuadores en respuesta al sentido de variables de entrada		
Variable	Actuador	Aplicación
Riego	Electrobomba	Permite el riego del cultivo por microaspersión.
Reserva de agua	Electroválvula	Permite el paso de agua desde el aljibe cuando el tanque está vacío.
Condiciones óptimas para un cultivo cítrico		
Variable	Rango de medida	
Temperatura	18°C – 30°C	
Humedad	50% - 60%	
Radiación solar	50% - 70%	
Consumo de agua	1L – 3L m2/día	

Fuente: Autor.

Forma y dimensiones del terreno

Se realiza un croquis de la forma del terreno del cultivo junto a sus dimensiones por cada lado para proceder a analizar y establecer su distribución para la implementación electrónica. Croquis ilustrado en la figura 13.

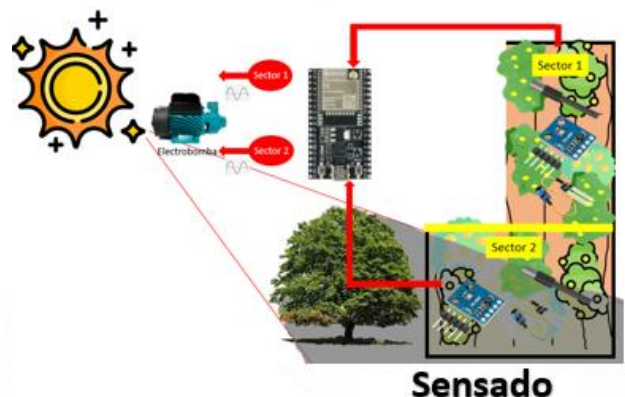
Figura 13. Croquis del terreno del cultivo.



Implementación de la electrónica

Teniendo en cuenta la forma del terreno del cultivo y dimensiones. Además, de las condiciones a su alrededor como árboles o estructuras altas que pueden producir sombras, se realiza la distribución de sensores en el terreno, tal como se ilustra en la figura 14.

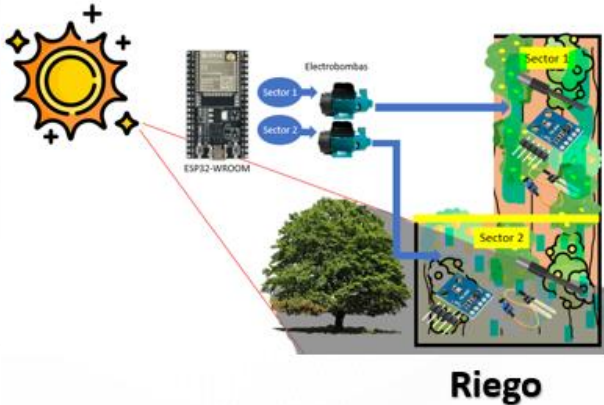
Figura 14. Distribución del terreno y sensores.



Fuente: Autor.

Se divide el terreno en dos sectores para poder garantizar un riego preciso sin pérdidas de agua en sectores con sombra, ubicando los sensores en una planta del centro de cada sector. Además, para prevenir enfermedades en la planta por el exceso de agua. De acuerdo con lo anterior, se establece la asignación de actuadores por sector, asignación ilustrada en la figura 15.

Figura 17. Diagrama de bloques del sistema de riego automatizado.



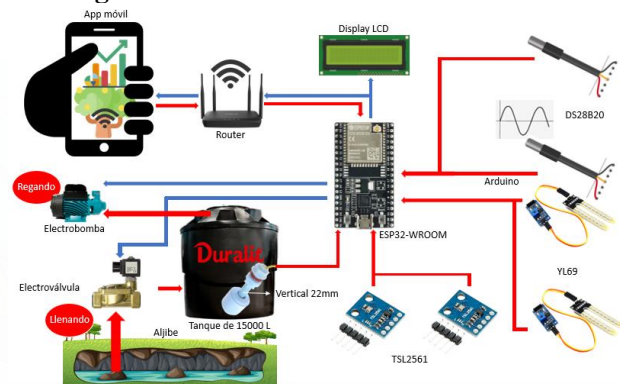
Fuente: Autor.

En la figura 15 se puede apreciar que en el sector dos el riego es mínimo por la sombra a diferencia del sector uno que presenta un riego mucho mayor por estar expuesto totalmente.

Prototipo a diseñar para el sistema de riego automatizado

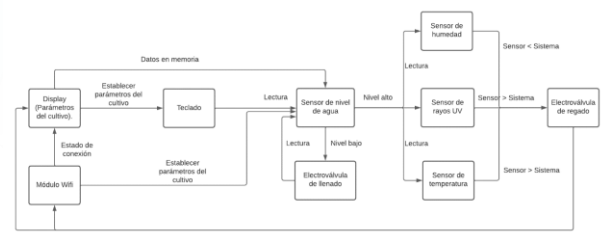
Se plasma un esquema de flujo en la figura 16, en el cual se establecen las funciones de los componentes que conforman al sistema de riego automatizado para el diseño.

Figura 16. Solución técnica del hardware.



Fuente: Autor.

Por último, se especifica mucho mejor la operación del sistema de riego automatizado en un diagrama de bloques, ilustrado en la figura 17.



Fuente: Autor.

Aplicación móvil y página web

El sistema de riego automatizado emplea los servicios prestados por ThingSpeak para la transferencia de datos en tiempo real permitiendo ver todos los datos sensados en gráficas independientes por variables y sectores del cultivo para una mejor apreciación junto a la fecha y hora en el cual se transfirió el dato de la variable sensada.

ThingSpeak cuenta con su aplicación móvil gratuita en dispositivos Android y de paga en dispositivos IOS. Para la visualización de datos en la página web para computadoras es totalmente gratuita.

Para ingresar al monitoreo del cultivo desde un dispositivo se debe ingresar la ID del registro del proyecto en la aplicación o página web de ThingSpeak.

El dispositivo empesara a transmitir los datos sensados por los sensores en el cultivo de forma automática una vez el sistema encienta y se haya conectado a internet. EL proceso se describe en la figura 18.

Figura 18. Solución técnica del software.

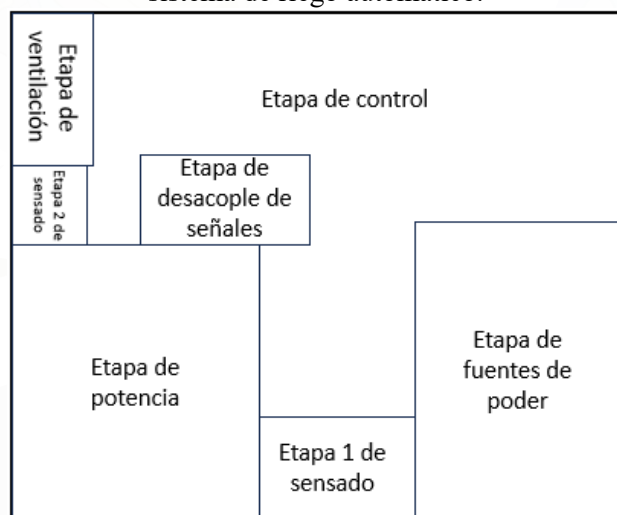


Fuente: Autor.

Esquemas del prototipo físico

Se realiza un esquema del prototipo físico para facilitar las conexiones de los componentes electrónicos del cultivo de forma fácil para el usuario. Además de la distribución interna del sistema para comprender la operación por sectores internos, ilustrado en la figura 19.

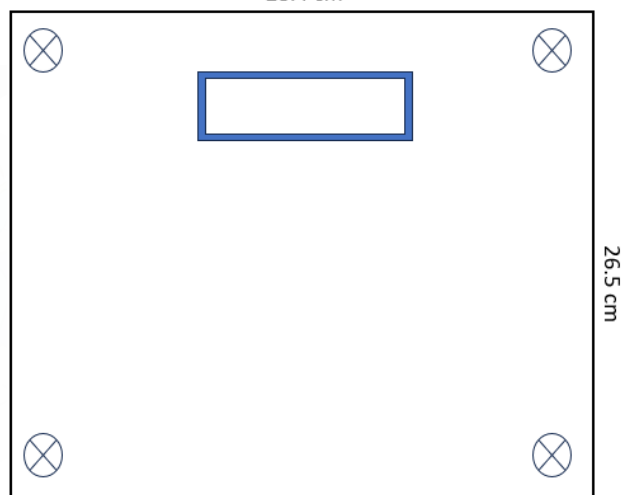
Figura 19. Distribución de etapas que conforman al sistema de riego automático.



Fuente: Autor.

En la cara superficial se encuentra el display LCD para la visualización de datos. Además, de que en los bordes esquineros se encuentran los tornillos de ajuste, en total cuatro tornillos para poder asegurar la tapa del sistema, tal como se ilustra en la figura 20.

Figura 20. Cara superficial principal del sistema.
28.4 cm

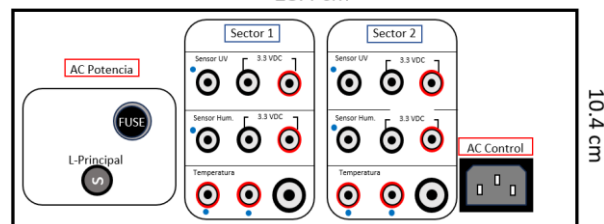


Fuente: Autor.

En la cara inferior se encuentra ubicado el puerto extraíble de poder para control y el cable fijo de poder para potencia con su porta fusible. Además, se encuentran las terminales de los sensores separadas por sectorización. Cada sector cuenta con tres sensores que sensan la intensidad de los rayos ultravioleta, la humedad del suelo y la temperatura

del suelo. Adicionalmente, para cada sensor se adaptan terminales de suministro de cinco 3.3 voltios para su polarización. Esta cara inferior se ilustra en la figura 21.

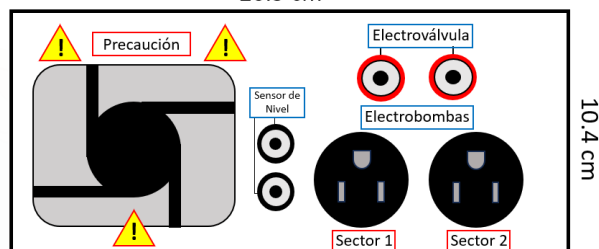
Figura 21. Cara inferior del sistema.
28.4 cm



Fuente: Autor.

En la cara lateral izquierda se encuentran los puertos de salida de potencia, en donde se ubican dos enchufes hembras redondos de caucho para el control de las electrobombas del sector uno y dos. Superior a estas se encuentran las borneras para el control de la electroválvula de llenado del tanque. En el centro de esta cara se encuentran las borneras para la conexión de la bomba para el sensado del nivel de agua y en la izquierda se encuentra el ventilador para refrigerar el sistema internamente. Cara lateral izquierda ilustrada en la figura 22.

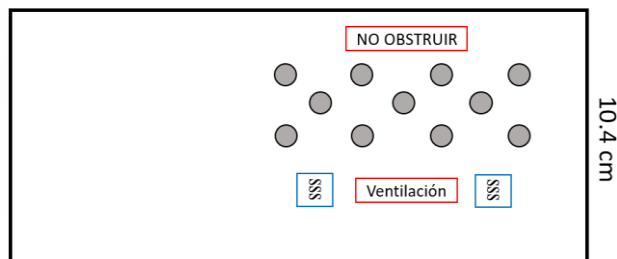
Figura 22. Cara lateral izquierda del sistema.
26.5 cm



Fuente: Autor.

En la cara lateral derecha se encuentran ubicados los orificios de entrada de aire succionado por el ventilador ubicado en la cara lateral izquierda. Es importante que esta cara se reserve un espacio mínimo de dos centímetros para no obstruir el paso del aire y haya un mejor flujo del mismo dentro del sistema. Cara lateral derecha ilustrada en la figura 23.

Figura 23. Cara lateral derecha del sistema.
26.5 cm



Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

Gracias a la implementación del sistema de riego automatizado, se logró garantizar un significativo ahorro en el consumo de agua del aljibe destinado al cultivo. Esto resulta especialmente importante durante la temporada de verano en el municipio de San Luis, ubicado en el departamento del Tolima, donde las temperaturas alcanzan un promedio de 40°C diariamente, especialmente en las horas pico, que comprenden desde las 10:00 de la mañana hasta las 3:00 de la tarde. Estas condiciones climáticas extremas agotaban rápidamente el recurso hídrico del aljibe, forzando al personal de la finca a suspender el riego durante hasta 8 horas consecutivas, hasta que el aljibe recuperara al menos un 40% de su capacidad máxima de 10.000 litros.

Sin embargo, gracias a la introducción del sistema de riego automatizado, se logró reducir drásticamente la dependencia del aljibe. Ahora, el aljibe se reduce a solo en un 10% de su capacidad máxima por día, lo que equivale a un consumo diario de un 90% del agua disponible, es decir, 9.000 litros de los 10.000 litros de su capacidad máxima. Esto es un marcado contraste con la situación anterior a la implementación, donde se llegaba al 100% de consumo del recurso hídrico, lo que ponía en riesgo las pérdidas del cultivo debido a la falta de agua mientras el aljibe se recuperaba, muchas veces quedando por debajo del 50% de su capacidad para el próximo riego.

Además de los beneficios en el consumo de agua, el sistema de riego automatizado ha resuelto otro problema en la finca: La ausencia del personal capacitado. Ahora, el usuario tiene la capacidad de monitorear su cultivo desde cualquier lugar del país. En caso de que se detecte alguna anomalía en los parámetros del cultivo, se puede solicitar al personal encargado de la finca que verifique el estado de

forma presencial y realice la intervención necesaria. Estas intervenciones suelen ser necesarias en casos de falta de recurso hídrico, es decir, cuando el aljibe se queda completamente sin agua y el tanque de reserva está vacío, o cuando falla algún sensor, lo que provoca problemas en el sistema de riego automatizado y su suspensión. En estas situaciones, se hace indispensable la intervención de la mano de obra humana.

REFERENCIAS

1. M. Sastoque Campos, "Agricultura y gases de efecto invernadero.", Virtual Pro, Jun. 2021, Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.virtualpro.co/noticias/agricultura-y-gases-de-efecto-invernadero>.
2. J. S. Capera Quintana, B. L. Sierra Forero, & T. D. Avila Blenkey. "ANÁLISIS TEMÁTICO DE PRINCIPIOS DE AUTOMATIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS.", Bol. Semillas Ambient., vol. 11, no. 2, p. (138-148), 2017. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12862/13277>.
3. V.Cortes Cadavid & M. F. Vargas Garcia. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE IOT EN LOS CULTIVOS URBANOS DE LA FUNDACIÓN MUJERES EMPRESARIAS MARIE POUSSEPIN.", Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2020.
4. M. J. Vanegas. "Guía técnica cultivo del limón pèrsico.", FRUTAL ES – Programa Nacional de frutas de El Salvador, vol1. Maya, El Salvador, p. (1-46), Oct. 2002. Accessed: May 14, 2022. [Online]. Available: http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/285/guia_tecnica_del_cultivo_del_limon_persico.pdf?sequence=1.

5. A. M. Castelblanco, M. Fragua Pedroza, & S. D. Herrera López. “Estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de riego para un cultivo de limón en la hacienda magallanes del municipio de Barrancabermeja.”, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, 2021.
6. Arumugam, N., & Venkatachalam, R. “Drip Irrigation and it’s Impact on Water Conservation and Crop Yield in Different Crop Cultivars.”, International Journal, 2017.
7. Kemper, H. M., & Duniway, J. D. “Irrigación.”, México, 1999.
8. Camacho-Poyato, E. Ortega-Reig, M., García-Martínez, M. A., Pérez-Martín, E., & Nortes-Perales, J. L. “Evolución del riego por aspersión en España.”, Revista de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 45, p. (39-52), 2018.
9. Singh, A. K., Kumar, S. “Evolution of drip irrigation system for cotton production in eastern Uttar Pradesh, India.”, Agricultural Water Management, 193, P(60-68), 2017.
10. García, F. “Evaluation of water use efficiency under different irrigation management strategies using FAO AquaCrop model in a semiarid region.”, Agricultural Water Management, 104, p. (219-226), 2012.
11. Carvalho, D. V. “Performance of an Automated Irrigation System in Lettuce Production.” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21(7), p. (458-463), 2017.
12. Sandoval-Solis, S. “Assessing the impact of irrigation technologies on the quality of water resources in the Rio Grande Basin (Mexico).”, Environmental Science and Pollution Research, 24(26), 2017.
13. Fan, J., & Zhang, E. “Design and Test of a Wireless Sensor and Control System for Irrigation.”, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(4), 04015053, 2016.
14. Beater, P., & Jawitz, J. “A review of control systems in the manufacturing industry.”, Journal of Manufacturing Systems. 43, p.(241-250), 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027861251730122X?via%3Dihub>
15. Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami, A. “Feedback control of dynamic systems.”, Pearson Education, 2014.
16. Campbell, A. “Sensores y transductores: Principios, tecnologías y aplicaciones.”, McGraw-Hill Education, 2018.
17. Bardwell, J. “Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications.”, Springer, 2010.
18. Kulkarni, S., Bodas, A. “Overview of Actuators in Robotics.”, International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 2015.
- 19.
20. Humphreys, K. R. “Industrial Ethernet: A pocket Guide.”, Elsevier Science, UK, 2003.