

Sistema de regadío inteligente para jardines

Intelligent irrigation system for gardens

Zuliet Medina Rodríguez^{1,*}, Alejandro O. Rodríguez Pérez¹, Jenifer Pérez González¹, Harold López Rodríguez¹, Mauricio Ernesto Sánchez Acosta¹

¹Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

*Correspondencia: zuliet.mr@automatica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Resumen

En la actualidad, el mundo utiliza el cultivo basado en datos, el cual es una forma de gestión que ayuda a manejar las operaciones. Sin embargo, debido a los problemas de bloqueo que presenta Cuba, es muy difícil acceder a esta tecnología, por lo que los sistemas de riego para jardines que se utilizan actualmente en la mayoría de los centros se basan en la concepción humana de cuándo es necesario realizar el proceso. Los establecimientos derrochan el agua sin tener en cuenta los niveles de humedad del suelo que varían con los riegos de los jardines y las lluvias. Por este motivo, se propone el diseño de un sistema de medición inteligente de regadío para jardines, a través de sensores creados por los autores y actuadores de bajo costo, basado en la medición de la humedad del suelo y del nivel que tiene el tanque de agua con el que se va a realizar el riego. Dentro de los materiales empleados se utilizan resistencias, capacitores, transistores, conectores, servomotores con mecanismo de expansión de agua, entre otros. De este modo se suprime la exportación de sensores y se desarrolla una solución económica acorde a las condiciones del país.

Palabras clave: sistema inteligente para jardines, sensores para regadío, sistema de medición

Abstract

Currently, the world uses data-driven farming, which is a form of management that helps manage operations. However, due to the blockade problems that Cuba presents, it is very difficult to access this technology, so the irrigation systems for gardens that are currently used in most centers are based on the human conception of when it is necessary to carry out the process. The establishments waste water without taking into account the soil moisture levels that vary with the watering of the gardens and the rains. Due to this, the design of the measurement system of an intelligent garden irrigation system is proposed, through sensors created by the authors and low-cost actuators, based on the measurement of soil moisture and the level of the tank. of water with which the irrigation will be carried out. Among the materials used, resistors, capacitors, transistors, connectors, servomotors with a water expansion mechanism, among others, are used. In this way, the export of sensors is suppressed and an economical solution is developed according to the conditions of the country.

Keywords: intelligent system for gardens, irrigation sensors, measurement system

1. Introducción

Actualmente el clima del planeta está cambiando por las distintas actividades humanas y procesos naturales, generando con ello una alteración en la mayoría de ciclos de los elementos que componen el entorno: el agua, minerales, materiales orgánicos, gases, etc. El ciclo hidrológico es uno de los principales procesos que ha sido alterado y por la importancia que tiene el agua en las actividades humanas y para la vida misma, es de suma relevancia hacer un uso óptimo de este recurso [1].

La importancia de los jardines en el casco urbano se deriva no solamente de sus valores estéticos y de esparcimiento, sino también de sus aportes medioambientales. Las áreas verdes filtran la atmósfera, estabilizan la temperatura y contribuyen a regular y purificar el flujo hídrico sobre la superficie de la ciudad [2].

En el mundo de hoy se utiliza la agricultura inteligente, aplicación de las nuevas tecnologías al ámbito agrícola. Se trata de incorporar las últimas innovaciones tecnológicas como son la obtención de datos, la cual es una forma de gestión agrícola que ayuda a los agricultores a manejar sus operaciones, lo que permite la toma de decisiones rápidas y precisas basadas en las necesidades del cultivo [3].

En Cuba en 1989 se creó la máquina de riego fragata. Estas tuvieron gran demanda por elevar la productividad y humanizar las labores en el campo, gracias a una tecnología que beneficia los cultivos en grandes hectáreas, ahorrándose agua y energía. Constituyen una apuesta necesaria para el desarrollo sostenible de la agricultura cubana. En el año 2010, en el Centro de Desarrollo Territorial de la UCI en Holguín, se desarrolló un sistema de gestión de asignación de aguas disponibles [1] y en el 2017 en la Universidad de Ciego de Ávila se desarrolló un software para la gestión de los recursos hidráulicos, el cual permitía obtener la configuración apropiada de los equipos encargados del riego [4]. Como deficiencia este se centra en la gestión del software y parte del hecho de que se cuenta con un equipo capaz de realizar el riego (Máquina de Riego de Pivote Central eléctrica: OTECH de 5 Torres), además de que se utiliza para grandes áreas de trabajo, por lo que no es posible utilizarlos en los jardines.

Debido a la situación actual del país y los problemas de importación que existen, se hace muy difícil y costoso obtener en el mercado internacional los sensores necesarios para los sistemas de riego de jardines que se utilizan actualmente en el mundo, por lo que en Cuba estos están basados en la concepción humana de cuándo es necesario que se realice el proceso. Los establecimientos derrochan el agua sin tener en cuenta los niveles de humedad del suelo que varían con los riegos de los jardines y las lluvias. No existe una medición y por ende, un control estable de la variable en cuestión, por lo que existen pérdidas de recursos naturales, afectando de esta forma el medio ambiente.

El objetivo de este trabajo es proponer un diseño del sistema de medición de un sistema inteligente de regadío de jardines, a través de sensores creados por los autores y actuadores de bajo costo, basado en la medición de la humedad del suelo y del nivel que tiene el tanque de agua con el que se va a realizar el riego.

2. Materiales y Métodos

Descripción del proceso

El proceso objeto de estudio consta de la medición de la variable nivel de humedad del suelo. Si los niveles no son los adecuados, se prosigue a medir la variable nivel del tanque. Si el nivel de este es adecuado, se realiza el proceso de riego a partir de que la señal de ambos sensores lleguen a un

controlador y este da inicio a un motor turbina que comienza el regadío. En caso contrario se notifica al usuario que el nivel del tanque no es adecuado y que no se pudo realizar el riego, siendo esta persona la encargada de tomar medidas con relación al nivel del mismo. Una vez alcanzada la humedad requerida, se prosigue con el apagado del motor (Figura 1). La presentación de los niveles de humedad del suelo y de los mensajes de error se realizan utilizando un display conectado a un Arduino MEGA que además será el encargado de almacenar dicha información.

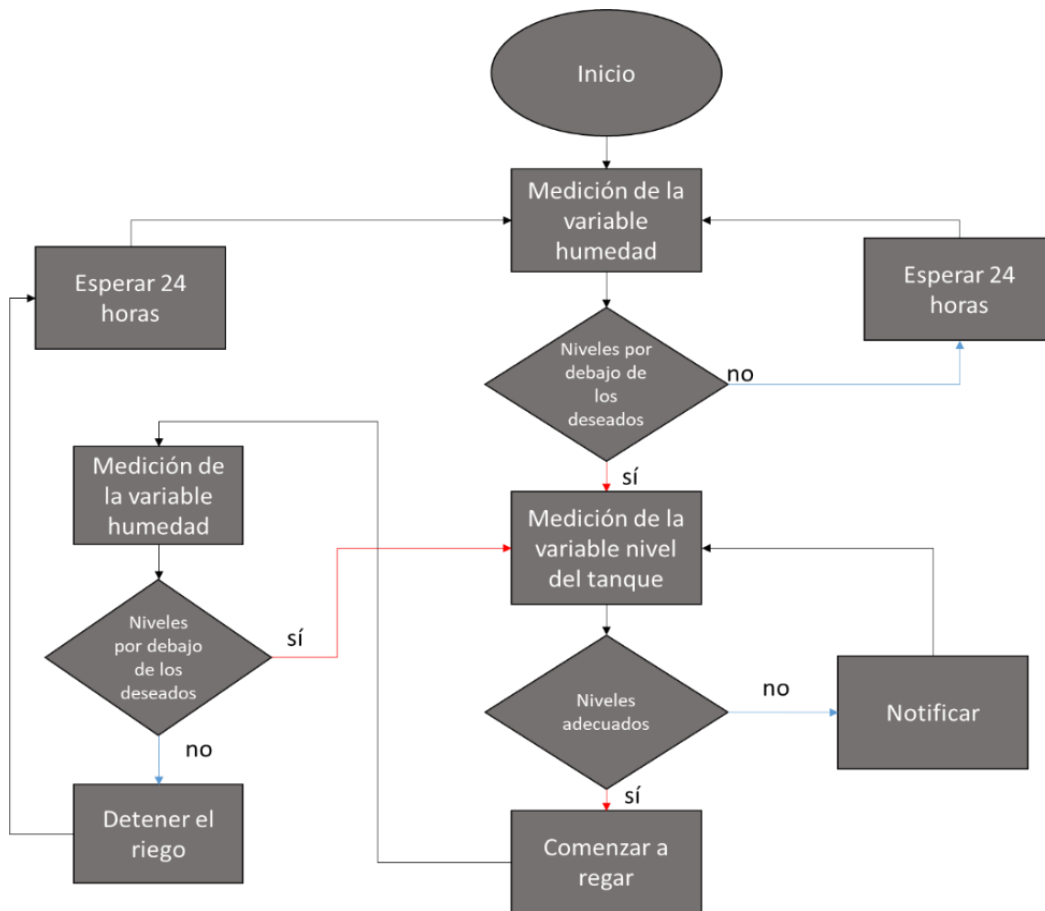


Fig.1 Diagrama de descripción del proceso

Lista de materiales para el diseño del prototipo del sistema de riego

Para llevar a cabo el diseño del prototipo del sistema de riego, se necesitan los siguientes materiales:

- Arduino MEGA
- Resistencias
- Capacitor
- Transistor
- Display 7 segmentos
- LED
- Conectores
- Amplificadores de instrumentación

- Transformador de 110 V a 5 V
- Relés
- Electroválvulas
- Difusor para jardines
- Tuberías de poliestireno
- Computadora personal
- Software libre “Arduino”

Propuesta del sistema de medición y descripción de sus componentes

Un sistema de medición se puede considerar como una colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para signar un número a la característica que está siendo medida. El sistema de medición que se propone se basa en un modelo obtenido a partir de [5-7], quedando como se muestra en la Figura 2.

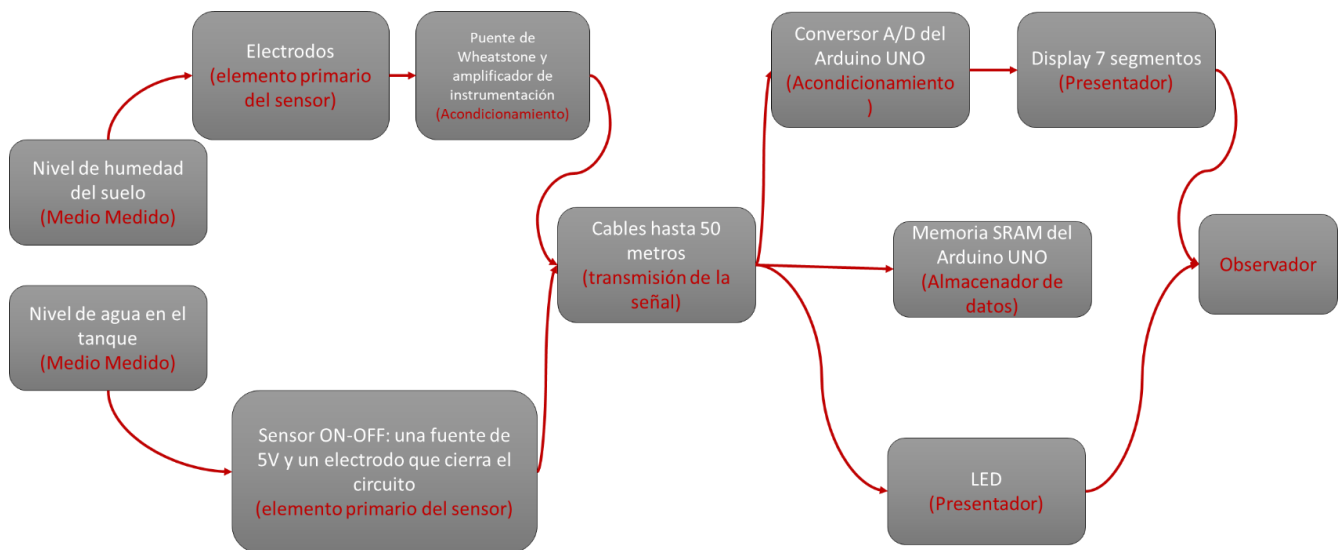


Fig.2 Diagrama del sistema de medición

El sensor primario o elemento primario del sensor es el elemento sensible primario que responde a las variaciones de la magnitud que se mide.

El sensor que se propone para la medición de los niveles de humedad es sencillo, realiza la medición por la variación de la conductividad del agua en el suelo. Su principio de trabajo consiste en mantener un voltaje entre dos electrodos. Los electrodos son básicamente una placa de cobre recubierto de acero inoxidable para prevenir la corrosión provocada por el ambiente, donde circulará una corriente eléctrica. Dependiendo de la humedad entre los electrodos, existirá un mayor o menor voltaje. Siempre que el sensor esté realizando una medición, una corriente eléctrica estará circulando entre los terminales. Como inconveniente está que no tiene la precisión suficiente para realizar la medición absoluta de la humedad del suelo, pero esto no es muy necesario para controlar un sistema de riego.

Para la medición del nivel de agua del tanque se emplea un principio de funcionamiento similar al de la medición de humedad, siendo en este caso un sensor ON-OFF, el cual consiste en una entrada de 5 V ubicada en la zona baja del tanque y a pocos centímetros debajo un electrodo que cerrará el circuito. Cuando el nivel del tanque se encuentre por debajo del sensor, este no transmitirá la señal.

Los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida el transductor, una señal apta para ser presentada o registrada, o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar, permiten el acondicionamiento de la señal. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones, las de amplificación, filtrado, adaptación de impedancias y modulación o demodulación.

La medición de la humedad del suelo posee una primera fase de acondicionamiento conformada por un puente de Wheatstone, ya que es necesario para pequeños cambios de resistencia. Como segunda etapa se utiliza un amplificador de instrumentación que puede proporcionar un ajuste cómodo de la ganancia mediante la resistencia R_G . Presenta una elevada y simétrica impedancia de entrada, consigue muy baja tensión y corriente de offset por la compensación de sus dos amplificadores operacionales, además de que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación, aún en un entorno hostil. Sin embargo, debido al principio de funcionamiento que presenta el sensor de nivel descrito, no es necesario acondicionar su señal para ser transmitida.

La telemetría o transmisión de la señal sucede en casos donde es necesario transmitir las señales entre la captación y el procesamiento mediante un canal de comunicación. Para adaptar las señales a las características de canal de comunicación es necesario introducir procesos de modulación, demodulación o codificación apropiados.

Se considera que las señales medidas se encontrarán a un máximo de 50 m del Arduino, por lo que la transmisión de la misma se realiza en tensión. No es necesario realizar una conversión a corriente o frecuencia, ya que a esta distancia no se afecta en gran medida por el ruido, la señal acondicionada.

El registro de la señal o almacenador de datos consiste en el almacenamiento permanente o temporal de las señales para su posterior análisis o supervisión. El almacenamiento de la señal también se realizará en el Arduino, el cual cuenta con una memoria SRAM que tiene una capacidad de almacenamiento de 8 kB.

El procesamiento de la señal incluye el conjunto de transformaciones a que debe ser sometida la señal eléctrica a fin de extraer de ella la información que se busca. Este suele contener muy diversas operaciones, ya sean lineales, no lineales, de composición de múltiples señales, o de procesamiento digital de las señales. Una vez transmitida la señal es necesario procesarla para que el sistema de control tome decisiones. Este procesamiento se realiza dentro del Arduino, ya que este cuenta con un conversor analógico digital. La información resultante del proceso de medida debe ser presentada de forma comprensible al operador, o elaborada e integrada para que pueda ser interpretada por un sistema supervisor automático.

Para realizar la presentación de la información se cuenta con 2 dispositivos, una pantalla 7 segmento que se encargará de mostrar el porcentaje de humedad del suelo, los que son enviados por el micro y el segundo es un LED, que se encenderá cuando los niveles del agua en el tanque se encuentren por debajo de los requeridos para realizar el riego. Para esto se utilizó un transistor NPN cuya conexión se muestra en la Figura 5.

Medición del grado de humedad del suelo

Según un breve estudio realizado, la humedad que necesita una planta depende de varios factores dentro de los que se encuentran el tipo de planta, la humedad ambiente (no será medida en el presente trabajo) y si la planta se encuentra a la sombra o al sol.

En este caso se estará monitoreando el nivel de humedad para el suelo en un jardín de rosas. Es necesario conocer que un rosal adulto necesita para estar saludable, que el suelo en el que se encuentra tenga una humedad en el intervalo entre 60 % y 70 %. Se supone el caso de un solo rosal (se realiza esta suposición, ya que se va a trabajar a escala teniendo en cuenta que los resultados obtenidos se pueden llevar a una escala superior dependiendo de las necesidades del usuario).

Se puede conocer la humedad del suelo simplemente tomando con la mano una muestra de tierra, pero de esta forma no es eficiente debido a que depende de la percepción de la persona que realiza la medición y solamente se sabrá si la tierra está húmeda o no, y no el porcentaje de humedad que presenta. Para conocer con precisión dicho porcentaje, se realizó una serie de experimentos en un laboratorio [8-12]. Se toma una muestra de tierra húmeda y se pesa (SM). Luego se toma esa muestra y se introduce en un horno a 105 °C durante 24 horas. Posteriormente se toma esa muestra ya deshidratada y se vuelve a pesar (SS) y con estos datos se calcula el porcentaje de humedad que presenta la tierra mediante la Ecuación 1.

$$Humedad [\%] = \frac{SM - SS}{SS} 100\% \quad (1)$$

Antes de ser introducida la tierra al horno, se mide el valor de la resistencia que presenta y con este valor y el obtenido de la Ecuación 1 se obtiene una relación resistencia-porcentaje en la que para 0 % de humedad el valor de resistencia ($R_{0\%}$) será de 0 Ω y para 100 % ($R_{100\%}$) será de 300 Ω . Con estos valores se puede comenzar el diseño del sensor de humedad.

Propuesta de diseño electrónico de los sensores

El diseño de la Figura 3 está formado por cuatro resistencias (R_{1-4}) y un potenciómetro (representa las variaciones del sensor de humedad). A este diseño se le conoce como puente de Wheatstone, el cual será alimentado con una fuente de tensión constante de 5 V. A la salida del puente se coloca un amplificador de instrumentación (AD620). Para el diseño del puente se decide utilizar una resistencia $R_4 = 300 \Omega$ que acompaña al sensor de humedad, y el resto de las resistencias empleadas (R_{1-3}) también serán de 300 Ω para mantener el equilibrio del puente cuando el sensor marque 0 % de humedad.

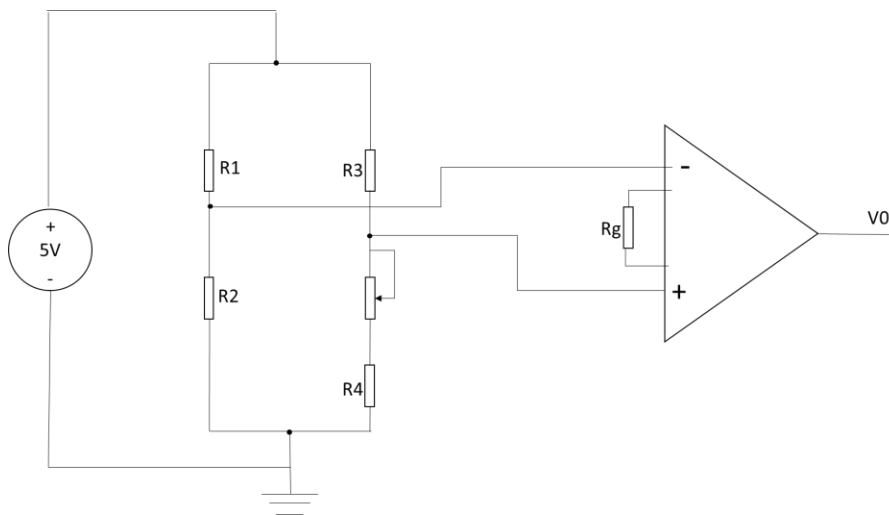


Fig.3 Diagrama de diseño electrónico del sensor de humedad

Cálculos de los valores de salida del puente de Wheatstone

Es necesario conocer el valor de salida del puente por la rama donde se encuentra ubicado el sensor cuando este está marcando 0 % de humedad (Ecuación 2) y 100 % (Ecuación 3).

$$V_{0\%} = \frac{R_{0\%} + R_4}{R_{0\%} + R_4 + R_3} V_{cc} \quad (2)$$

$$V_{100\%} = \frac{R_{100\%} + R_4}{R_{100\%} + R_4 + R_3} V_{cc} \quad (3)$$

$$V_{0\%} = \frac{0 + 300}{0 + 300 + 300} 5 = 2,5 V$$

$$V_{100\%} = \frac{300 + 300}{300 + 300 + 300} 5 = 3,3 V$$

Una vez obtenidos ambos valores y conociendo que el puente para 0 % se encuentra en equilibrio, o sea, la diferencia de potencial en su salida es de 0 V ($V_{\min}$), se calcula la diferencia de potencial para 100 % con la Ecuación 4 y como es necesario que el valor final ($V_{\max}$), sea de 5 V, se calcula la ganancia que debe tener la etapa de amplificación con la Ecuación 5.

$$V_{dif} = V_{100\%} - V_{0\%} \quad (4)$$

$$G = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{dif}} \quad (5)$$

$$V_{dif} = 3,3 - 2,5 = 0,8 V$$

$$G = \frac{5 - 0}{0,8} = 6,25$$

Debido a que a la salida del puente la diferencia de tensión es muy pequeña, es necesario amplificar esta señal antes de ser transmitida para que se afecte lo menos posible por el ruido y logre alcanzar el valor deseado de 5 V, que es la máxima tensión de entrada que permite el conversor analógico digital del Arduino, por lo que se añade una etapa de amplificación en el diseño.

Cálculos de los componentes del amplificador

Debido a que se utilizó un amplificador de instrumentación, su ganancia es regulada utilizando una sola resistencia (R_G), la cual se calcula según la Ecuación 6 que fue obtenida de la hoja de datos del elemento.

$$R_G = \frac{49,5 k\Omega}{G - 1} \quad (6)$$

$$R_G = \frac{49,5 k\Omega}{6,25 - 1} = 9,4 k\Omega$$

3. Resultados y Discusión

Evidencia del funcionamiento del diseño propuesto

Hasta el momento el diseño propuesto consta de dos sensores, uno de humedad del suelo y otro de nivel de un tanque, los que deben enviar al Arduino MEGA señales que se encuentren entre 0 V (nivel mínimo de humedad o de agua suficiente) y 5 V (nivel máximo de humedad o agua insuficiente). En la Figura 4 se aprecian las conexiones de los componentes del sistema. En este caso se emplea un solo sensor de humedad y una sola electroválvula, pero pueden ser conectados la cantidad que el sistema necesite.

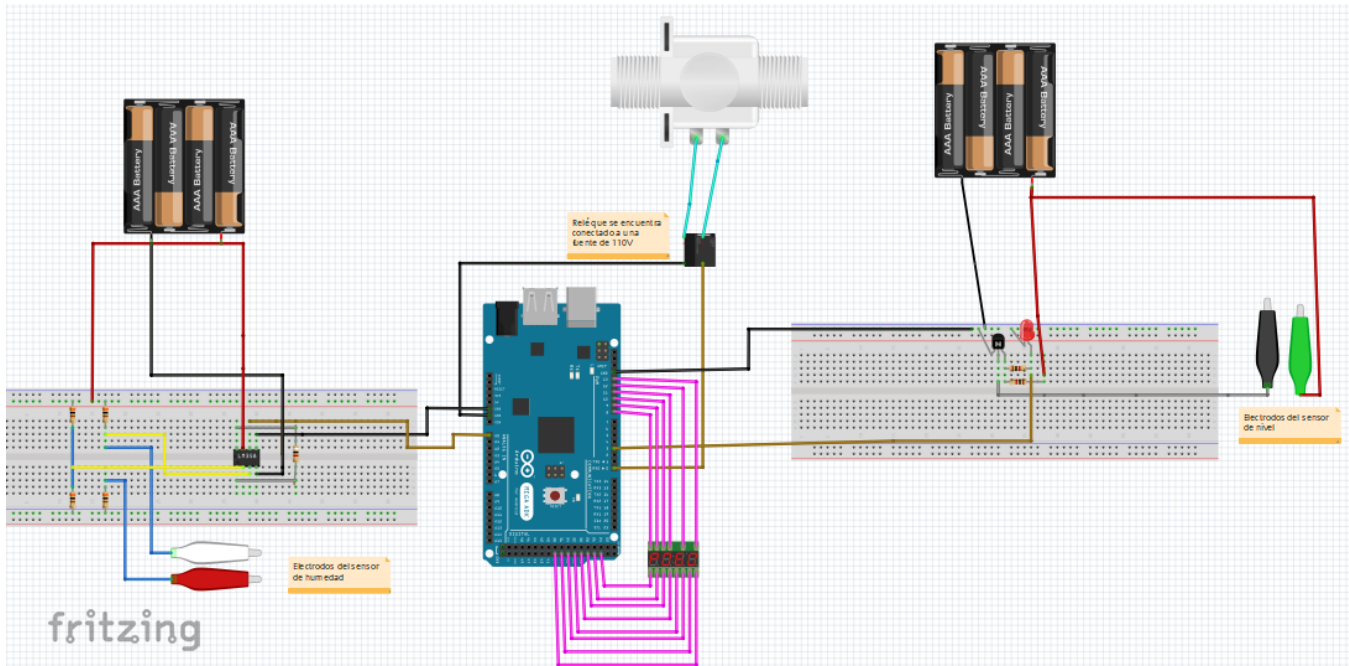


Fig.4 Conexión del sistema al Arduino MEGA

El sensor de nivel funciona como un interruptor (Figura 5) cuando el tanque no tiene suficiente agua para realizar el riego, se comporta como un circuito abierto y a la salida del sensor se obtiene '1' lógico y se enciende un LED, mientras que cuando el circuito se cierra producto de que el tanque está lleno a la salida se obtiene un '0' lógico.

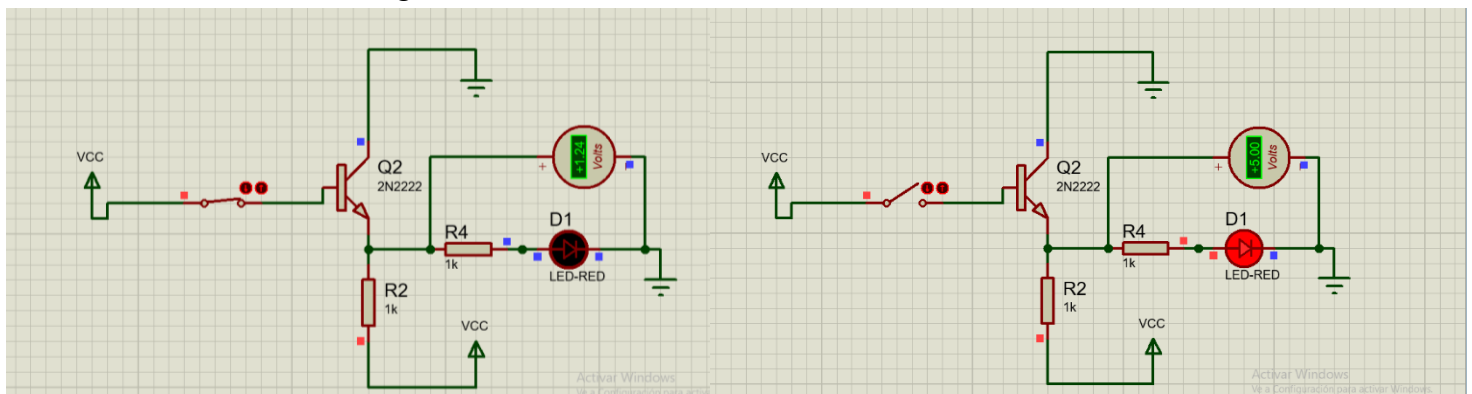


Fig.5 Diagrama de la propuesta del diseño del sensor de nivel

Estos resultados teóricos se corroboran con los experimentales que se pueden apreciar en la Figura 6 donde, cuando el nivel del agua está por debajo del deseado se enciende un LED, mientras que cuando los niveles son correctos este permanece apagado.

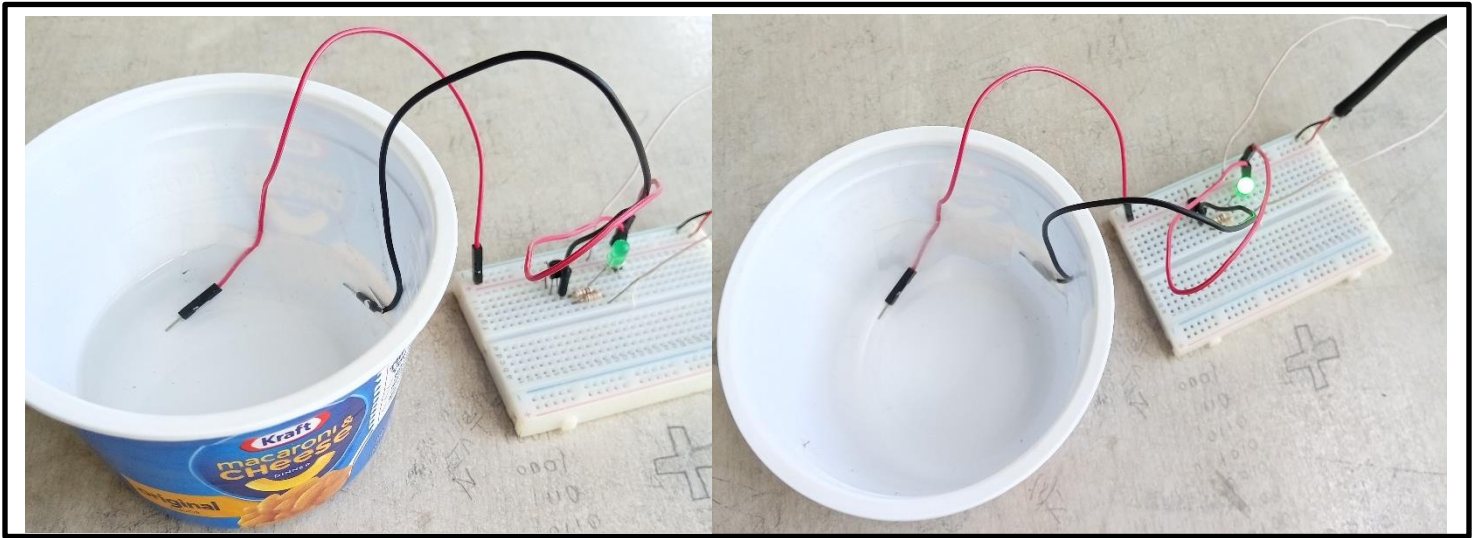


Fig.6 Representación del sensor de nivel

En la Figura 7 se evidencian todas las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del sensor encargado de medir la humedad del suelo. En un primer momento se conecta el sensor de humedad a un puente de Wheatstone y a la salida de este se ubica como se explicó anteriormente el sensor de instrumentación AD620A. El voltaje que entrega el amplificador es conectado a un voltímetro para comprobar sus valores en los diferentes niveles de humedad. En este caso la humedad del suelo se encuentra al 100 %, por lo que al finalizar el acondicionamiento se espera un voltaje de salida de 5 V, en este caso se obtienen 4,97 V, que representa un error de $\pm 0,03 V$ o 0,6 %, siendo este un error pequeño para el uso del sensor.

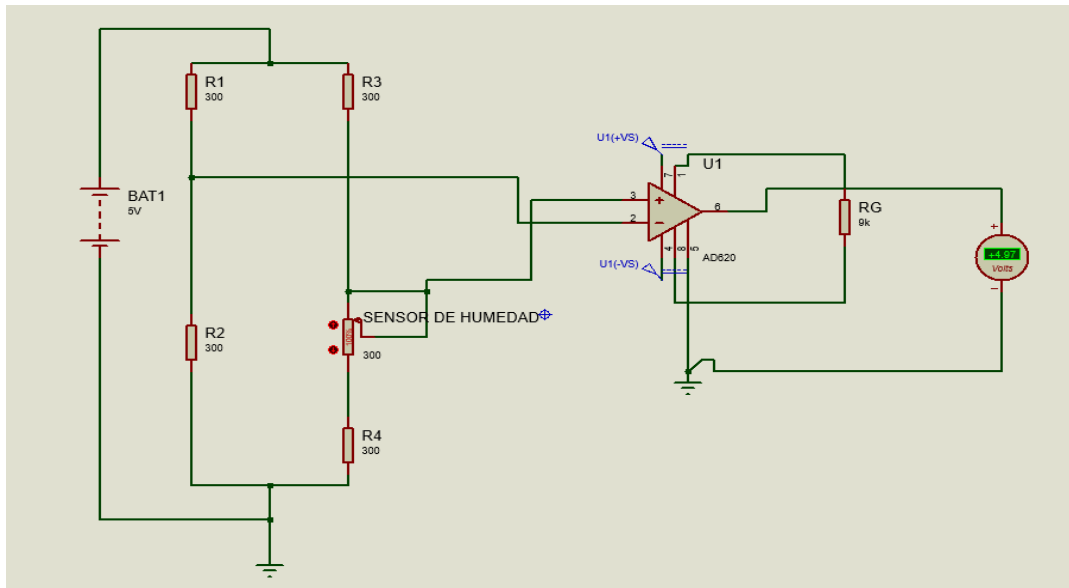


Fig.7 Diagrama de la propuesta del diseño del sensor de humedad

Los resultados planteados en la Figura 7 se pueden corroborar con las Figuras 8, 9 y 10, donde se observa el diseño físico del sensor de humedad (se utilizan cactus, ya que solamente se desea comprobar el principio de funcionamiento del sensor), que la tierra está totalmente seca (no existe conductividad y el circuito queda abierto, demostrándose con el estado apagado del LED) y que la tierra está totalmente húmeda (se cierra el circuito y el LED enciende, dependiendo del nivel de humedad de la tierra es la intensidad con que este alumbra) respectivamente.

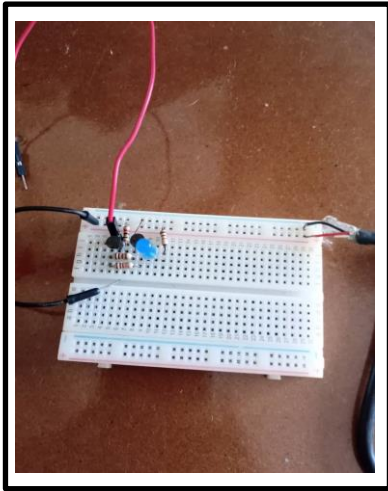


Fig.8 Diseño físico del sensor de humedad

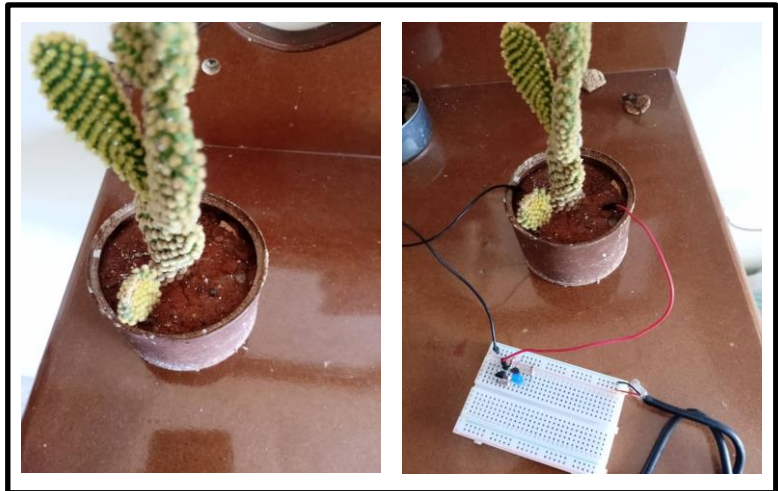


Fig.9 Representación del sensor para humedad de la tierra de 0 %



Fig.10 Representación del sensor para humedad de la tierra de 80 %

Propuesta del diseño de un jardín

Se decide realizar un riego por microaspersión debido a que este proporciona a las plantas el agua de forma tal que simula una lluvia muy fina y permite una mejor distribución del agua en cuanto a la uniformidad [13].

En la Figura 11 se puede apreciar el diseño hidráulico de un jardín con un área de 72 m^2 . Se utiliza un diseño rectangular para una mejor comprensión, pero las tuberías pueden ser ubicadas teniendo en cuenta las necesidades de cada usuario.

El diseño consta de un depósito elevado a 3 m (altura mínima necesaria), con una capacidad para almacenar 1000 L de agua. Fue necesario ubicarlo a esta altura para garantizar que el agua llegue a todos los puntos de interés del jardín sin necesidad de utilizar una bomba, lo que permite el ahorro de recursos energéticos.

Las tuberías empleadas son de poliestireno y se utilizan dos diámetros diferentes, la que se encuentra a la salida del tanque tiene un diámetro de $1''$ y el resto que se encuentra en el jardín son de $\frac{1}{2}''$. En el centro de cada tubería de $\frac{1}{2}''$ se colocan los difusores seleccionados, en este caso se escogen de la marca Hunter por su excelente relación calidad-precio, además de presentar un alcance de 5 m de radio, lo que garantiza el riego de todas las plantas.

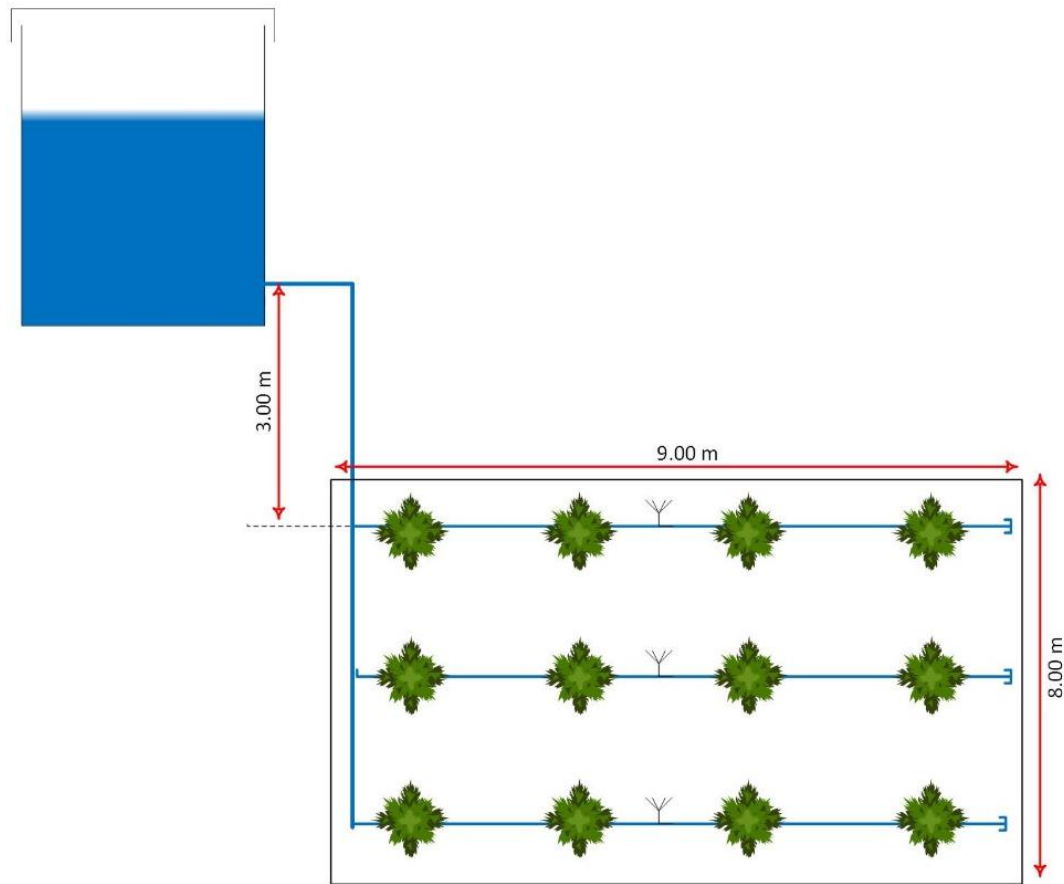


Fig.11 Diseño hidráulico del jardín

Diseño eléctrico del sistema propuesto

En la Figura 12 se puede apreciar cómo queda conformado el diseño eléctrico del sistema de riego para el jardín descrito anteriormente. Este consta de dos sistemas de control, uno manual (llenado del tanque) y otro automático (riego del jardín).

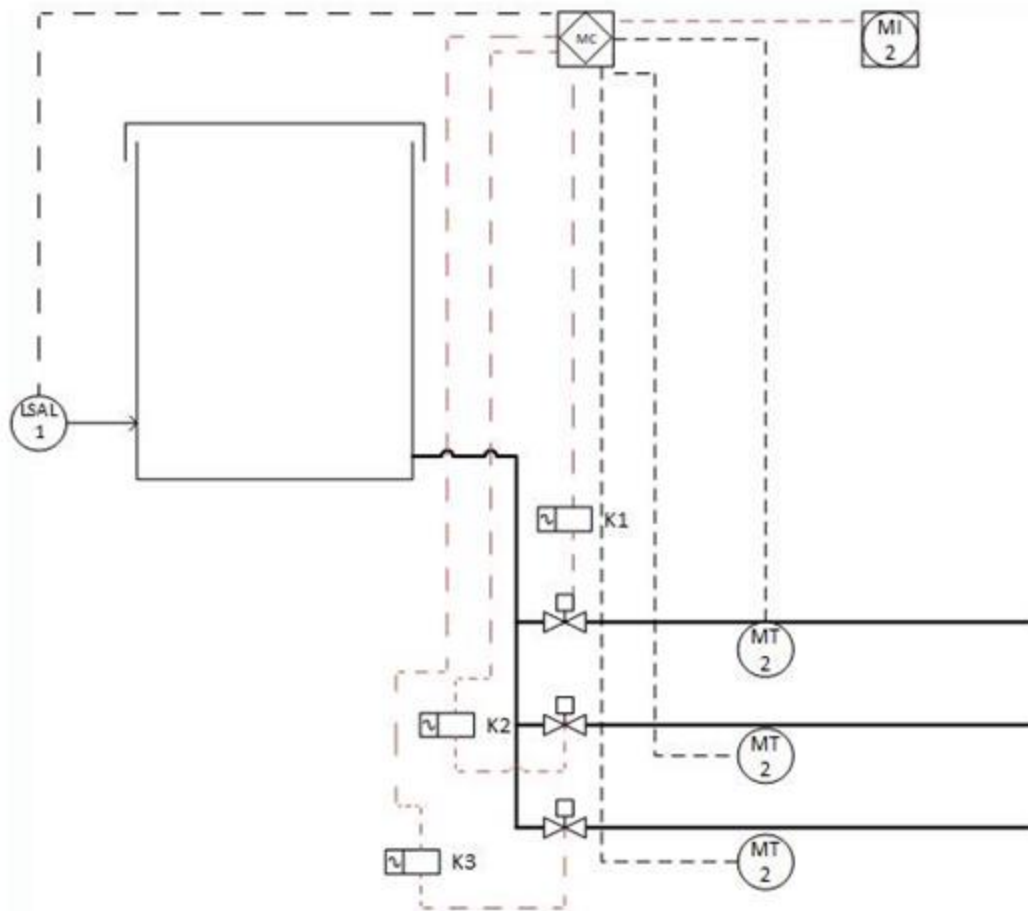


Fig. 12 Diagrama del diseño eléctrico del sistema de riego

El primer lazo de control se encuentra conformado por el sensor de nivel propuesto, que una vez que marca niveles bajos de agua en el depósito enciende un LED para informar al usuario que no se cuenta con suficiente agua para realizar el riego. Este sistema no fue automatizado debido a que no se tiene una fuente constante de donde se pueda extraer el agua. Además, transmite esta información al Arduino para en caso de estar regando, detener el proceso en ese momento.

En el segundo lazo de control se tiene la medición de la humedad del suelo en tres puntos diferentes. Si uno de los niveles no es óptimo, se abre la electroválvula de ese canal y comienza el riego hasta que se alcancen los niveles de humedad deseados. Esta medición se realiza cada mañana.

La electroválvula seleccionada fue diseñada para trabajar con baja presión con un voltaje de operación de 110 V. Se utilizó un módulo relé compatible con Arduino, el cual por su principio de funcionamiento permite controlar el encendido y apagado de elementos que funcionan con altas tensiones y corrientes con una señal de control de 5 V proveniente del microcontrolador. El módulo relé aísla los dos circuitos eléctricos con el fin de garantizar la protección de los dispositivos conectados.

Además, en este lazo se cuenta con una pantalla conformada por 4 lámparas 7 segmentos, donde las 3 primeras se encargan de mostrar el porcentaje de humedad y la última indica el sensor que está dando dicha información.

Viabilidad del diseño

Luego de realizar una búsqueda de proveedores en el mercado internacional, se realizó una comparación de los precios de los componentes empleados en la solución con los precios de los sensores más utilizados actualmente para sistemas de riego de jardines (no se tienen en cuenta los gastos de importación para ninguna de las dos variantes).

En la Tabla 1 los precios se toman en la moneda extranjera USD y se tienen en cuenta la cantidad de recursos que se va a emplear en cada solución. Además, se incorporan los elementos comunes para ambas soluciones. En el caso de que el precio es 0 USD, es porque para esa solución no es necesario ese elemento.

Tabla 1. Comparación de los gastos del diseño propuesto con y sin sensores importados

Materiales	Precio de los elementos empleados en la solución	Precio utilizando sensores industriales
Electrodos	3,00	0
Amplificador de instrumentación (AD620)	0,01872	0
Potenciómetro	0,0325	0
Resistencias	0,09093	0
Capacitor	0,046	0
Transistor (2N2222A)	0,2862	0
Transformador de 110 V a 5 V (CE CUL ROHS 120 V/240 V 5 V)	2,00	2,00
Display 7 segmentos (TM1637)	0,54	0,54
LED	0,049	0,049
Conectores	2,39	2,39
Arduino uno	8,50	8,50
Relés	0,152	0,152
Electroválvula	1,35	1,35
Difusores	2,20	2,20
Sensor de humedad (UBIBOT RS485 SOIL Temperature)	0	55,99
Sensor de nivel (YZ-SUS304)	0	20,61
TOTAL	20,65535	93,781

Luego de un análisis detallado de los precios, se puede concluir que además de contar con una mejor disponibilidad de componentes la propuesta planteada, se ahorra ~78 % de los recursos monetarios.

4. Conclusiones

La propuesta presentada permite el desarrollo de sensores de nivel de agua en un tanque y de humedad del suelo, que son capaces de sustituir a los que se encuentran actualmente en el mercado para los sistemas de riego de jardines. Debido a esto se evita la importación de sensores que son comprados en mercados que se encuentran demasiado lejos o a través de terceros, por el bloqueo económico impuesto al país, lo que permite que se ahorren recursos monetarios a partir de resultados favorables con soluciones propias. Como trabajo futuro se desea ampliar la investigación para jardines de mayores dimensiones. Además de implementar un algoritmo de control más eficiente que permita, una vez medido el porcentaje de humedad del suelo y teniendo en cuenta factores externos, decidir cuánto tiempo se va a realizar el riego sin necesidad de realizar constantemente la medición y automatizar el sistema de llenado del tanque, teniendo en cuenta que la fuente de agua no es constante, de este modo el usuario no tenga que intervenir en el proceso.

Referencias

1. Saúco, A.M., Andino, I.R., Borrego, Á., Turrulles, Y., Gómez, Y., *Sistema de gestión de asignación de aguas disponibles*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2010. **4**(3-4): p. 33-39.
2. Sánchez, T.M., *El jardín vertical como herramienta de mejora del confort urbano*, 2021. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid-ETSAM Universidad Politécnica de Madrid.
3. Sánchez, J., *Diseño de un sistema IoT para casas de cultivo*, 2022. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE).
4. Almeida, E., Camejo, L.E., Santiesteban, C.E., *La fertirrigación inteligente, pilar de una agricultura sostenible*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2017. **11**(3): p. 36-49.
5. Colectivo de Autores, *Instrumentación Electrónica*, 2012. Ed. Thomson: Madrid.
6. Pérez, M.Á., *Instrumentación Electrónica: 230 problemas resueltos*. 2012. Ed. Garceta: Madrid. ISBN: 978-84-15452-00-3.
7. Pallás, R., *Sensores y acondicionadores de señal*, Ed. Marcombo: Barcelona. ISBN: 978-842-671-344-5.
8. Caicedo-Rosero, L.C., Méndez-Ávila, F.J., Gutiérrez-Zeferino, E., Flores-Cuautle, J.J.A., *Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características*. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 2021. **9**(17): p. 1-8.
9. Martin, E.C., *Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿cuándo?* Collage of Agriculture, 2017.
10. Durán, H.M., *Efecto de la humedad en la resistencia mecánica de un suelo franco*. Terra Latinoamericana, 2002. **20**(3): p. 227-234.
11. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo*. Boletín de Suelos, 2005. 79: p. 9-26.
12. Colectivo de Autores, *Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad*. UF IFAS Extensión, 2019.
13. Cortes-Cadavid, V., Vargas-García, M.F., *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*, 2020. Universidad Católica de Colombia.