



Diseño de sistema automatizado de riego, diseño de sistema solar fotovoltaico y análisis de riesgo eléctrico para huerta comunitaria en la comuna 1 de Medellín.

Andrés Felipe Pineda Obando

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Johnatan Rodríguez Serna, Doctor (PhD) en Ingeniería de Producción y Diseño Industrial

Asesor

Amador Erney Rúa Arias, Magíster (MSc) En Educación Superior en Salud

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	A. Pineda Obando [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] A. Pineda Obando, “Diseño de sistema automatizado de riego, diseño de sistema solar fotovoltaico y análisis de riesgo eléctrico para huerta comunitaria en la comuna 1 de Medellín, 2024”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Agradezco a Articulación Territorial de Prácticas Académicas de la universidad de Antioquia y huerta comunitaria Esther Vásquez, por permitirme la oportunidad de realizar la práctica.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Sergio Iván Restrepo Ochoa.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia, maestros, amigos y alma mater: su amor, guía y apoyo han sido el faro que ilumina mi camino. Gracias por todo.

Agradecimientos

En este momento de reflexión y gratitud, no puedo dejar de reconocer la influencia profunda y transformadora que mi familia ha tenido en mi vida. A mis padres, cuya sabiduría y amor han sido faros en mi camino, les agradezco por sembrar en mí las semillas del esfuerzo, la tenacidad y la compasión. A mis maestros y profesores, quienes no solo compartieron conmigo su vasto conocimiento, sino que también me guiaron con humildad y dedicación, les debo mi profundo respeto y admiración. A mis amigos, compañeros de batallas y momentos de alegría, les agradezco por su apoyo incondicional y por ser espejos que reflejaban mis fortalezas y debilidades. A mi Alma Mater, la universidad que me acogió y nutrió mi mente y espíritu, le estoy agradecido por ofrecerme un espacio para crecer, aprender y madurar. Y al azar, esa fuerza misteriosa que moldea nuestras vidas de formas impredecibles, le reconozco por desafiar mis límites, fortalecer mi carácter y guiarme hacia un camino de autodescubrimiento y superación. En este viaje de aprendizaje y crecimiento, cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón, y por eso les estaré eternamente agradecido.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCION	9
2. OBJETIVOS	10
3. MARCO TEORICO	11
4. METODOLOGIA	28
5. DISEÑO SISTEMA DE RIEGO	30
6. AUTOMATIZACION DEL SISTEMA DE RIEGO	52
7. DISEÑO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	66
8. ANALISIS DE RIESGO ELECTRICO	75
REFERENCIAS	78
ANEXO 1. Explicación detallada de la automatización del sistema de riego	84

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CA	Corriente alterna
CB	Capacidad del banco de baterías
CC	Corriente continua
DA	Días de autonomía
DPS	Dispositivo de protección contra sobretensiones
F_s	Factor de seguridad
H_f	Pérdidas de carga continua
H_s	Pérdidas de carga singulares
HSP	Hora sol pico
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
LED	Light Emitting Diode
MSc	Magister Scientiae
NTC	Norma Técnica Colombiana
PD	Profundidad de descarga
PF	Factor de potencia
PhD	Philosophiae Doctor
P_{inv}	Potencia del inversor
PG	Potencia generada por el módulo solar
PWM	Modulación de ancho de pulso
PVC	Poli cloruro de vinilo
Q_r	Caudal de riego
Re	Número de Reynolds
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
UdeA	Universidad de Antioquia
V_{ac}	Tensión de corriente alterna
V_{cc}	Tensión de corriente continua
V_{sis}	Tensión del sistema

RESUMEN

El proyecto de diseño integral para la huerta comunitaria en la Comuna 1 de Medellín se centra en tres pilares: el diseño de un sistema automatizado de riego, la implementación de un sistema solar fotovoltaico y un análisis de riesgo eléctrico. Se busca optimizar el uso de recursos naturales, reducir la huella de carbono y proporcionar un entorno seguro y productivo. El diseño del sistema de riego se basa en las condiciones del terreno y las necesidades hídricas de las plantas, incluyendo el uso de controladores y válvulas solenoides. Para el sistema solar fotovoltaico, se considera el consumo energético diario de las instalaciones. El análisis de riesgo eléctrico permite evaluar la seguridad de las instalaciones eléctricas de la huerta. La metodología incluye mediciones del terreno, investigación de sistemas de riego y energía solar, diseño de sistemas, análisis económicos y documentación para la implementación exitosa del proyecto.

***Palabras clave* — Sistema de riego, Automatización, Diseño, Sistemas solar fotovoltaico, Riesgo eléctrico.**

ABSTRACT

The comprehensive design project for the community garden in Commune 1 of Medellín focuses on three pillars: the design of an automated irrigation system, the implementation of a solar photovoltaic system and an electrical risk assessment analysis. The aim is to optimize the use of natural resources, reduce the carbon footprint and provide a safe and productive environment. The irrigation system design is based on soil conditions and plant water needs, including the use of controllers and solenoid valves. For the solar photovoltaic system, the daily energy consumption of the facilities is considered. The electrical risk analysis allow evaluate the safety of the orchard's electrical installations. The methodology includes land measurements, investigation of irrigation and solar energy systems, system design, economic analysis and documentation for the successful implementation of the project.

Keywords — Irrigation system, Automation, Design, Photovoltaic solar systems, Electrical risk analysis.

1. INTRODUCCIÓN

En la comuna 1 de Medellín, conocida como popular, los habitantes del barrio Santo Domingo han dedicado un espacio especial para cultivar una huerta y operar un restaurante comunitario. Este esfuerzo se ha convertido en un faro de esperanza para la comunidad, ofreciendo no solo alimentos frescos y saludables, sino también un punto de encuentro vital para los vecinos. La Huerta se encuentra en el barrio La Avanzada, cerca de la Institución Educativa Santo Domingo Savio.

La huerta cuenta con un invernadero, desarrollado por la fundación Salva Terra en el año 2014, a través del proyecto para huertas orgánicas denominado “Huertas con vos” de la Alcaldía de Medellín, el cual ya finalizó su vida útil [1]. El área donde se encuentra la huerta tiene un terreno empinado con una pendiente pronunciada. El restaurante y el invernadero están situados en la parte más alta de esta área. El lugar actual del invernadero está destinado para la expansión futura del restaurante. En la zona media del terreno está la huerta ya establecida, mientras que en la parte inferior hay un espacio sin utilizar que limita con la Cañada Negra.

El proyecto de diseño integral se enfoca en tres pilares fundamentales: diseñar el sistema de riego automatizado aprovechando eficientemente el terreno escarpado, diseñar un sistema solar fotovoltaico para abastecer de energía renovable las operaciones de la huerta y el restaurante, por último, realizar un análisis exhaustivo del riesgo eléctrico para garantizar la seguridad de las instalaciones.

Este modelo podrá ser replicable en futuras huertas comunitarias de entornos similares. Al integrar tecnología con prácticas agrícolas tradicionales, estamos construyendo un puente hacia un futuro más sostenible y equitativo para los residentes de la Comuna 1 de Medellín.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar soluciones sostenibles para la Huerta comunitaria de la Comuna 1 de Medellín, para contribuir al desarrollo sustentable de la comunidad, optimizando el uso de recursos naturales, reduciendo la huella de carbono y proporcionando un entorno seguro y productivo para las actividades agrícolas.

2.2. Objetivos específicos

- 1.** Diseñar un sistema de riego automatizado teniendo en cuenta las condiciones del terreno y las necesidades hídricas de las plantas.
- 2.** Dimensionar un sistema solar fotovoltaico considerando el consumo energético diario de las instalaciones de la huerta comunitaria.
- 3.** Realizar un estudio de análisis de riesgo eléctrico para las instalaciones eléctricas de la huerta.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Ubicación de la huerta

La huerta está ubicada en la zona nororiental de Medellín, una de las áreas más antiguas y densamente pobladas de la ciudad, tiene un área aproximada de $988[m^2]$, de los cuales $800[m^2]$ corresponden a la huerta [1]. Se encuentra entre el límite del barrio la avanzada y El Trébol, cerca de la Institución Educativa Santo Domingo Savio, en la carrera 28 con calle 107Fd. En la Imagen 1 se puede observar de forma general la ubicación de la huerta.



Imagen 1. Ubicación de la huerta en la zona nororiental de Medellín. Tomado de: Google Earth 2023.

3.2. Riego por goteo

Un sistema de riego por goteo es un método eficiente que proporciona agua directamente a las raíces de las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación [2]. Consiste en una red de tuberías y emisores (goteros) que liberan agua de manera gradual cerca de las plantas. Este sistema es muy utilizado en agricultura, jardinería y huertos debido a su eficiencia en el uso del agua y su capacidad para proporcionar la cantidad precisa de agua que las plantas necesitan. Esta técnica evita el flujo excesivo de agua en terrenos inclinados, reduciendo el arrastre de partículas, lo que previene la erosión [3].

En general, el riego por goteo se considera que tiene un alto rendimiento, frecuentemente situado entre el 80 y el 90%. Estos porcentajes indican comúnmente que una parte sustancial del agua suministrada al sistema efectivamente alcanza las raíces de las plantas, siendo aprovechada para el crecimiento, lo que resulta en un uso eficiente del agua [4].

3.2.1. componentes del riego por goteo

Un sistema de riego por goteo básico consta de varios componentes esenciales que trabajan juntos para proporcionar agua de manera eficiente a las plantas. Los componentes básicos son:

1. **Fuente de Agua:** Puede ser una conexión a la red de suministro de agua municipal, un pozo, una fuente natural u otra fuente de agua.
2. **Filtro:** Un filtro se utiliza para eliminar partículas sólidas del agua que podrían obstruir los emisores de goteo. Pueden ser filtros de malla o filtros de discos, según las necesidades específicas.
3. **Válvula de Control:** Se utiliza para controlar el flujo de agua en el sistema y regular la presión.
4. **Líneas Laterales:** Transportan el agua desde la tubería principal hasta las diferentes áreas de la parcela. Generalmente de 12 a 32[mm] de diámetro y construida en PVC flexible.
5. **Líneas distribuidoras:** Permiten conectar líneas laterales a ambos lados; pueden ser flexibles si están ubicadas sobre la superficie o rígidas si están enterradas en la superficie.
6. **Tubería Principal:** Conecta las líneas distribuidoras a la fuente de agua. Puede estar construida de cualquiera de los siguientes materiales: Tubería de polietileno, tubería rígida de PVC, tubería de acero inoxidable o tubería de asbesto-cemento.
7. **Emisores de Goteo (Gotos):** Colocados en las líneas de distribución, suministran agua directamente a las raíces de las plantas. Pueden ser goteros autocompensantes para mantener un flujo constante independientemente de las variaciones en la presión.
8. **Accesorios de Conexión:** Incluyen codos, conectores y accesorios para conectar las diferentes partes del sistema.
9. **Sensor de Humedad del Suelo (Opcional):** Monitorea la humedad del suelo y ajusta el riego según las necesidades de las plantas [5].

3.3. Conceptos básicos de hidráulica

3.3.1. Ecuación de la continuidad

La ecuación de continuidad, basada en el principio de conservación de la masa, establece que en un flujo estacionario e incompresible, el flujo volumétrico que entra a un sistema debe ser igual al flujo volumétrico que sale del sistema, esto se ilustra en la Imagen 2.

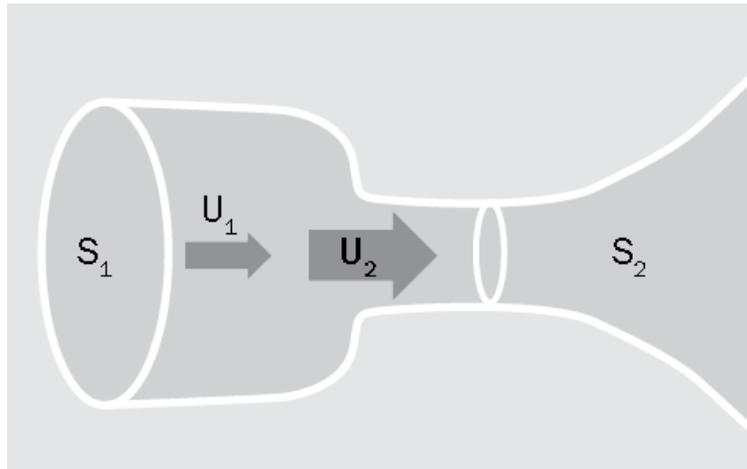


Imagen2. Ecuación de la continuidad [6].

Matemáticamente se expresa como $S_1 \cdot U_1 = S_2 \cdot U_2$, Donde S es el área de la sección transversal y U es la velocidad del flujo en ese punto. La ecuación de continuidad se utiliza para describir cómo cambia la velocidad del flujo en un conducto cuando cambia su área de sección transversal, manteniendo constante el flujo de masa o volumen a lo largo del conducto [7].

3.3.2. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una expresión de la conservación de la energía, tiene una gran importancia en la mecánica de fluidos que describe el comportamiento de un flujo de fluido en un régimen de flujo estacionario e incompresible, asumiendo que no hay pérdidas de energía debidas a la fricción. Esta ecuación establece que en un flujo de fluido, la suma de la presión hidrostática, la energía cinética por unidad de masa y la energía potencial gravitatoria por unidad de masa a lo largo de una línea de corriente permanecen constante. Tiene diversas aplicaciones en ingeniería, como en el diseño de sistemas de tuberías, análisis de flujos en conductos y estudios aerodinámicos [6].

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{Constante} \quad (1)$$

Donde P es la presión estática del fluido, ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad del fluido, g es la aceleración debida a la gravedad y h es la altura sobre un punto de diferencia.

3.3.3. Ecuación general de la energía

La ecuación general de la energía es una expresión que describe la conservación de la energía en un flujo de fluido. Esta ecuación tiene en cuenta los diferentes tipos de energía presentes en el flujo, incluyendo la energía cinética, la energía potencial y la energía debida a la presión del fluido. También tiene en cuenta las pérdidas por fricción [6].

En términos generales, la ecuación de la energía para un flujo de fluido incompresible y estacionario se puede expresar como:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + z - H_f = \text{Constante} \quad (2)$$

Donde P es la presión estática del fluido, ρ es la densidad del fluido, v es la velocidad del fluido, g es la aceleración debida a la gravedad y z es la altura sobre un punto de diferencia y H_f es la pérdida de energía debido a la fricción en el flujo.

3.3.4. Cálculo del diámetro de las tuberías

Para realizar el cálculo del diámetro de una tubería debemos partir por la ecuación de continuidad, esta hace referencia a las variables que se deben considerar las cuales son: la velocidad y el caudal [8]. El cálculo del diámetro de la tubería es de suma importancia en un sistema de riego por goteo, ya que influye directamente en la distribución adecuada del agua a lo largo del sistema. El diámetro de la tubería afecta la velocidad del agua y, por ende, la presión en el sistema.

$$D = \left(\frac{4 \cdot Q_r}{\pi \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Dónde: D es el diámetro de la tubería en metros [m], V es la velocidad del fluido en metros sobre segundos $\left[\frac{m}{s} \right]$, para sistemas de riego a goteo se recomiendan velocidades entre 0,3 y 3 $\left[\frac{m}{s} \right]$ y Q_r el caudal de riego total de la parcela.

3.3.5. Estimación de las pérdidas de carga

Las estimaciones por pérdida de carga se refieren al cálculo de la pérdida de energía que experimenta un fluido al circular a través de un sistema de tuberías, accesorios u otros componentes hidráulicos. Esta pérdida de energía, conocida como pérdida de carga, puede deberse a la fricción entre el fluido y las paredes internas de la tubería. Las estimaciones por pérdida de carga son importantes en el diseño de sistemas de tuberías para determinar la eficiencia y la capacidad del sistema, así como para seleccionar los componentes adecuados y dimensionar correctamente las tuberías.

3.3.5.1. Pérdidas de carga continuas (H_f): son las que existen como consecuencia de la fricción con tuberías y mangueras.

3.3.5.2. Pérdidas de carga accidentales, singulares o localizadas (H_s): las provocadas por el paso del agua a través de puntos singulares, como bifurcaciones, cambio del diámetro de tubería y accesorios como válvulas. Cuantitativamente suelen ser mucho menores a las pérdidas de carga continuas y en algunos casos pueden considerarse despreciables.

3.3.5.3. Pérdidas de carga totales: se calculan sumando las pérdidas de carga continuas y las pérdidas de carga singulares. Sin embargo, dado que las pérdidas de carga singulares suelen ser pequeñas en comparación con las continuas en condiciones normales, las pérdidas totales son casi equivalentes a las pérdidas continuas.

$$\text{Pérdidas totales} = H_f + H_s \approx H_f \quad (4)$$

3.3.6. Número de Reynolds

El número de Reynolds es una medida adimensional que se utiliza en mecánica de fluidos para caracterizar un fluido. Se calcula como el cociente entre el producto del diámetro de la tubería y la velocidad del fluido sobre la fuerza viscosa en un flujo, y ayuda a determinar si el flujo es laminar o turbulento. Cuando el número de Reynolds es bajo, el flujo tiende a ser laminar, mientras que valores altos indican un flujo turbulento [9].

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (5)$$

Donde V es la velocidad del fluido en metros sobre segundo, D es el diámetro de la tubería en metros y ν es la viscosidad cinemática [10]. Para el agua a una temperatura de 15 [C°] la viscosidad cinemática es de:

$$\nu = 1,141 \cdot 10^{-6} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (6)$$

3.3.7. Ecuación de Darcy-Weisbach

La fórmula universal o ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación utilizada en ingeniería hidráulica para calcular las pérdidas de carga debidas a la fricción en el flujo de líquidos a través de tuberías. Esta ecuación establece una relación entre la pérdida de carga, el flujo volumétrico, la longitud de la tubería, el diámetro de la tubería y el coeficiente de fricción. Es una herramienta fundamental para el diseño y análisis de sistemas de distribución de agua, alcantarillado, sistemas de riego y otros sistemas de tuberías.

$$H_f = \frac{0,08263 \cdot f \cdot l}{D^5} \cdot Q^2 \quad (7)$$

Donde H_f es la pérdida de carga en mca, f es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, l es la longitud de la tubería en metros, D es el diámetro de la tubería en metros y Q es el caudal que fluye en metros cúbicos sobre segundo [9].

3.3.8. Coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach

El coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, denotado como f , es un parámetro utilizado en la ecuación de Darcy-Weisbach para calcular las pérdidas de carga en el flujo de un fluido a través de una tubería. Este coeficiente representa la resistencia al flujo que experimenta el fluido debido a la fricción con las paredes de la tubería y otros elementos del sistema.

El cálculo del factor de fricción varía según el número de Reynolds:

- Para $Re < 2300$ se dice que existe un régimen laminar en el flujo de agua, y la ecuación para el cálculo de f es:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (8)$$

- Para $2300 < Re < 4000$ se dice que existe un régimen de transición en el flujo de agua, y la ecuación para el cálculo de f es:

$$f = \frac{1}{(1,81 \cdot \log Re - 1,5)^2} \quad (9)$$

- Para $Re > 4000$ se dice que existe un flujo turbulento en el flujo de agua, y la ecuación para el cálculo de f es:

$$f = \frac{0,25}{\left\{ \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right\}^2} \quad (10)$$

3.4. Conceptos de Automatización

3.4.1. Arduino y Tinkercad

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto que está diseñada para la creación de prototipos de proyectos electrónicos de forma rápida y sencilla. Consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador y un entorno de desarrollo integrado que permite escribir y cargar programas en la placa. Tiene pines de entrada y salida digitales y analógicas. Los valores se pueden tomar o enviar desde sensores a través de pines. Es posible realizar muchos sistemas inteligentes, estudios de robótica y proyectos electrónicos cargando los códigos generados en la tarjeta [11].

Tinkercad es una plataforma en línea que permite a los usuarios diseñar y simular modelos 3D, así como crear circuitos electrónicos de manera virtual mediante la selección y colocación de componentes como resistencias, LED, microcontroladores y sensores, y luego conectarlos entre sí para crear un circuito funcional. Ofrece una interfaz intuitiva y fácil de usar que no requiere experiencia previa en diseño [12].

3.4.2. Arduino UNO

El Arduino Uno es una placa de desarrollo de microcontrolador ampliamente utilizada y popular debido a su versatilidad y facilidad de uso. Funciona con un microcontrolador ATmega328P. El voltaje de entrada recomendado para el Arduino Uno es de 7 a 12 voltios a través del conector de alimentación. Sin embargo, también se puede alimentar mediante el conector USB, que proporciona 5 voltios [13].

En cuanto a los pines, el Arduino Uno tiene un total de 20 pines de entrada/salida digitales, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM (modulación de ancho de pulso), y 6 pines analógicos para entrada. En la Imagen 3 se muestra un Arduino uno:



Imagen 3. Arduino uno [13].

3.4.3. Sensores de humedad de tipo resistivo

Los sensores de humedad del suelo resistivos constan de dos electrodos metálicos que se insertan en el suelo. Cuando el suelo está húmedo, actúa como un conductor y la corriente eléctrica puede fluir entre los electrodos con facilidad, lo que resulta en una resistencia eléctrica baja. Por otro lado, cuando el suelo está seco, ofrece una mayor resistencia al flujo de corriente debido a la falta de humedad, lo que resulta en una resistencia eléctrica alta [14]. El sensor mide esta resistencia eléctrica y la convierte en una señal eléctrica que se puede interpretar para determinar el nivel de humedad del suelo. Normalmente, esta señal se convierte en una lectura de voltaje o corriente que puede ser interpretada por un microcontrolador como Arduino. Basándose en esta lectura, el sistema puede tomar decisiones, como activar o desactivar el sistema de riego para mantener la humedad del suelo en un nivel deseado.

3.4.4. Sensores de tipo capacitivo

Los sensores de humedad del suelo capacitivos funcionan midiendo la capacitancia dieléctrica del suelo, que está relacionada con su contenido de humedad. Estos sensores consisten en dos placas metálicas paralelas que actúan como electrodos, con el suelo entre ellas actuando como dieléctrico. Cuando el suelo está húmedo, actúa como un conductor y la capacitancia entre las placas es mayor. Por otro lado, cuando el suelo está seco, su capacidad dieléctrica es menor, lo que se refleja en una menor capacitancia entre las placas [15].

El sensor mide esta capacitancia y la convierte en una señal eléctrica que se puede interpretar para determinar el nivel de humedad del suelo [16]. Normalmente, esta señal se convierte en una lectura de voltaje o corriente que puede ser interpretada por un microcontrolador como Arduino. Basándose en esta lectura, el sistema puede tomar decisiones, como activar o desactivar el sistema de riego para mantener la humedad del suelo en un nivel deseado.

3.5. Caída de tensión

La caída de tensión, también conocida como pérdida de voltaje, se refiere a la disminución de la tensión eléctrica a lo largo de un circuito debido a la resistencia de los materiales conductores. Esta pérdida de energía puede ocurrir en cables, conexiones y otros componentes del sistema eléctrico cuando una corriente eléctrica fluye a través de ellos. Es crucial calcular y controlar la caída de tensión para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de los equipos eléctricos, especialmente en instalaciones de gran escala o distancias largas donde la caída de tensión puede ser significativa. Los cálculos de caída de tensión ayudan a dimensionar adecuadamente los conductores y otros elementos del sistema para mantener la tensión dentro de límites aceptables y prevenir problemas de rendimiento o seguridad [17], [18].

Según las Regulaciones de cableado IEEE, es fundamental garantizar que la caída de voltaje en un circuito no supere un cierto porcentaje, para evitar que las cargas no reciban suficiente voltaje debido a la resistencia del cableado. Estas regulaciones establecen que la caída de voltaje no debe exceder el 3% para circuitos de iluminación y el 5% para circuitos de potencia. Este criterio es fundamental para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro de los dispositivos eléctricos y para mantener la eficiencia energética del sistema [19].

La caída de tensión se calcula utilizando la ley de Ohm, que establece que la caída de tensión en un conductor es igual al producto de la corriente que fluye a través del conductor, la resistencia del conductor y la longitud del conductor [20].

$$v_d = I \cdot R \cdot L \quad (11)$$

Donde v_d es la caída de tensión en Voltios, I es la corriente en Amperios, R es la resistencia del conductor en ohmios por metro y L es la longitud del conductor en metros.

Para calcular R , la resistencia del conductor en ohmios por metro:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (12)$$

Donde ρ es la resistividad del material del conductor en ohmios por metro, L es la longitud del conductor en metros y A es el área de la sección transversal del conductor en metros cuadrados.

Según el libro “Fundamentos de circuitos eléctricos” la resistividad del cobre a temperatura ambiente es [21]:

$$\rho = 1,72 * 10^{-8} [\Omega \cdot m] \quad (13)$$

3.6. Conceptos de sistemas solares fotovoltaicos

3.6.1. Radiación solar

La radiación solar es la energía electromagnética emitida por el sol que incide sobre la superficie terrestre. Esta radiación es esencial para la operación de sistemas fotovoltaicos, ya que es capturada por los paneles solares y transformada en electricidad mediante el efecto fotovoltaico [22]. La cantidad de radiación solar que llega a un área específica está sujeta a diversas variables como la ubicación geográfica, la hora del día, las condiciones climáticas y la temporada del año. Estas variaciones son determinantes en la eficiencia y producción de energía de los sistemas fotovoltaicos [23].

3.6.2. Irradiación

La irradiación se refiere a la cantidad de energía solar por unidad de área que incide sobre una superficie en un período de tiempo determinado. Es una medida importante en la evaluación del potencial de generación de energía solar en un lugar específico y se expresa comúnmente en unidades como kilovatios-hora por metro cuadrado $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$. La irradiación solar puede variar según la ubicación geográfica, la hora del día, las condiciones climáticas y la época del año [24].

3.6.3. Irradiancia

La irradiancia se refiere a la potencia de la radiación solar incidente por unidad de área en un momento específico. Se mide en vatios por metro cuadrado $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ y representa la cantidad de energía solar que llega a una superficie en un instante dado [25]. La irradiancia es una medida instantánea de la energía solar, mientras que la irradiación es una medida acumulativa de la energía solar a lo largo del tiempo [26].

3.6.4. Horas solar pico

La hora solar pico, también conocida como la hora pico de radiación solar, es el momento del día en el que se registra la mayor intensidad de radiación solar incidente sobre una superficie horizontal. Es el momento en el que el sol se encuentra en su posición más alta en el cielo, lo que resulta en una mayor cantidad de radiación solar directa. Es importante tener en cuenta la hora solar pico al diseñar e instalar sistemas solares fotovoltaicos para maximizar su eficiencia y producción de energía [27].

3.6.5. Angulo óptimo de inclinación

Es el ángulo en el que los paneles solares maximizan la captación de radiación solar a lo largo del año. Este ángulo varía según la ubicación geográfica del sistema y la aplicación específica, pero generalmente está cerca de la latitud del lugar. Al ajustar la inclinación de los paneles solares para que estén más cerca del ángulo óptimo, se puede mejorar la eficiencia del sistema al aumentar la cantidad de radiación solar capturada durante todo el año. Sin embargo, en aplicaciones específicas, como sistemas fotovoltaicos montados en tejados residenciales, la inclinación puede ser ajustada para optimizar la producción de energía durante ciertas estaciones o momentos del día [28]. En su libro "Conceptos básicos de la energía solar fotovoltaica", Sean White proporciona una ecuación para calcular el ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 |\varphi| \quad (14)$$

Donde: β_{opt} es Inclinación óptima para maximizar la captación de energía anual en grados sexagesimales y φ es la latitud del lugar en grados sexagesimales [29].

3.6.6. Caracterización de la carga

La caracterización de la carga se realiza mediante el análisis de los dispositivos eléctricos y electrodomésticos que forman parte del sistema, así como de sus patrones de uso y demanda energética. Esta información proporciona una base sólida para dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico, eligiendo los paneles solares, las baterías y otros componentes necesarios para satisfacer las necesidades energéticas del usuario de manera eficiente y rentable. Al diseñar un sistema solar fotovoltaico, es crucial caracterizar la carga para determinar con precisión el consumo energético y su duración. Esto implica

comprender la cantidad de energía que se consume y durante cuánto tiempo, lo cual es fundamental para dimensionar adecuadamente el sistema y garantizar un suministro energético confiable.

3.6.7. Potencia del generador

La potencia generada por los paneles solares se refiere a la cantidad de energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos en un sistema solar. Esta potencia se calcula multiplicando la energía demandada por día por un factor de sobredimensionamiento y dividiendo el resultado entre el producto de la eficiencia de los paneles y las horas de sol pico. Este cálculo tiene en cuenta la energía requerida diariamente, la eficiencia de los paneles y la disponibilidad de luz solar durante el día, con el factor de sobredimensionamiento utilizado para compensar posibles pérdidas y garantizar un suministro confiable de energía [29], [30], [31].

$$PG = \frac{E[Wh] \cdot F_s}{\eta_{sis} \cdot HSP} \quad (15)$$

Donde: PG es la potencia que deben generar los paneles solares para satisfacer la demanda, $E[Wh]$ es la energía demandada por día, F_s es el factor de sobredimensionamiento, η_{sis} es la eficiencia del sistema y HSP son las horas solar pico.

3.6.8. Capacidad del banco de baterías

La capacidad del banco de baterías se refiere a la cantidad total de energía eléctrica que las baterías pueden almacenar y suministrar cuando se requiere. Esta capacidad se expresa típicamente en Amperios-hora $[Ah]$ y determina la autonomía del sistema, es decir, el período durante el cual el sistema puede funcionar sin recibir energía solar directa. Es crucial dimensionar adecuadamente la capacidad del banco de baterías para satisfacer las demandas energéticas del sistema durante los periodos de baja radiación solar o durante la noche [32]. La capacidad del banco de baterías se calcula como el producto de la energía demandada por día y los días de autonomía, dividido entre el voltaje del sistema y la profundidad de descarga. Este cálculo permite determinar la cantidad de energía que las baterías deben ser capaces de almacenar para satisfacer las necesidades del sistema durante el período de autonomía deseado, teniendo en cuenta factores como la demanda energética diaria, la duración de la autonomía, el voltaje del sistema y el nivel de descarga de las baterías [29][33].

$$CB[Ah] = \frac{E[Wh] \cdot D_A}{V_{sist} \cdot P_D} \quad (16)$$

Donde: $CB[Ah]$ es la capacidad del banco de baterías en amperio-hora, $E[Wh]$ es la energía demandada por día, D_A son los días de autonomía, V_{sist} es la tensión del sistema y P_D es la profundidad de descarga.

3.6.9. Profundidad de descarga

La profundidad de descarga en baterías se refiere al porcentaje de la capacidad total de la batería que se ha utilizado durante un ciclo de carga y descarga. Por ejemplo, una profundidad de descarga del 50% significa que se ha utilizado la mitad de la capacidad de la batería antes de volver a cargarla. Es un indicador importante de la salud y la vida útil de la batería, ya que afecta su rendimiento y durabilidad. Una profundidad de descarga más alta generalmente significa una mayor cantidad de energía disponible, pero también puede acortar la vida útil de la batería si se utiliza de manera excesiva de forma regular [34].

3.6.10. Días de autonomía

Los días de autonomía son el número de días que el banco de baterías puede suministrar energía a la carga sin recibir una recarga externa, como la generada por paneles solares. Es una medida de la capacidad del sistema para mantener el suministro de energía durante períodos de poca o ninguna radiación solar, o cuando las condiciones climáticas no son propicias para la generación de energía renovable [35]. Cuantos más días de autonomía tenga un sistema, mayor será su capacidad para funcionar de manera independiente sin una fuente de energía externa.

3.6.11. Cálculo del regulador

El cálculo del regulador de carga es crucial en el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos porque desempeña un papel fundamental en la gestión y protección de las baterías. El regulador de carga se encarga de controlar la corriente que fluye desde los paneles solares hacia las baterías, evitando la sobrecarga y la descarga excesiva que pueden dañarlas. Además, permite optimizar la eficiencia del sistema al asegurar que la energía generada por los paneles solares se utilice de manera óptima para cargar y mantener las baterías en condiciones ideales [36].

En el cálculo del regulador de carga, es fundamental asegurar que la corriente suministrada por el banco de baterías no exceda la corriente máxima permitida por el regulador. Asimismo, se debe verificar que la tensión del banco de baterías se mantenga dentro de los límites aceptables del regulador. Además, es importante considerar el voltaje de operación del regulador y su capacidad máxima de potencia en relación con dicho voltaje de operación. Estos criterios garantizan un funcionamiento seguro y eficiente del sistema, evitando sobrecargas o daños tanto en el regulador como en las baterías [35].

$$Reg_v = \#M_s \cdot V_{oc} \quad (17)$$

$$Reg_I = \#M_p \cdot I_{sc} \cdot F_s \quad (18)$$

Donde: Reg_v es el voltaje máximo permisible por el regulador, $\#M_s$ es el número de módulos en serie, V_{oc} es el voltaje de circuito abierto de un módulo, Reg_I es la corriente máxima permisible por el regulador, $\#M_p$ es el número de módulos en paralelo, I_{sc} es la corriente de cortocircuito de un módulo y F_s es el factor de seguridad.

3.6.12. Cálculo del inversor

El cálculo del inversor es crucial debido a su función en la conversión de la energía solar en electricidad utilizable para alimentar los dispositivos y equipos conectados al sistema. El inversor debe seleccionarse cuidadosamente para garantizar que pueda manejar la carga máxima estimada del sistema, incluidos los picos de demanda de energía. Además, se debe considerar la capacidad del inversor para proporcionar un voltaje y una frecuencia de salida estable y compatible con los equipos que se alimentarán [37]. La potencia del inversor debe ser mayor o igual que la potencia máxima demandada por el factor de simultaneidad que me indica el porcentaje de equipos que operan al mismo tiempo [34], [35].

$$Potencia\ inversor \geq potencia\ maxima\ demandada \cdot factor\ simultaneidad \quad (19)$$

3.6.13. Dimensionamiento de los conductores

El dimensionamiento adecuado de los conductores en un sistema solar fotovoltaico es crucial para garantizar la eficiencia, seguridad y durabilidad del sistema. Los conductores, especialmente diseñados para este tipo de sistemas, son responsables de transportar la energía generada por los paneles solares hacia los diferentes componentes del sistema, como los inversores y las baterías. Estos conductores deben ser capaces de soportar la corriente eléctrica sin sobrecalentarse ni perder energía por caídas de tensión excesivas. Al utilizar conductores especializados, se asegura una óptima transmisión de la energía, minimizando las pérdidas y optimizando el rendimiento general del sistema.

3.6.14. Dimensionamiento del conductor desde el módulo fotovoltaico hasta el banco de baterías

La corriente máxima producida por los paneles fotovoltaicos viene dada por la ecuación Reg_I y la sección transversal que sería adecuada para esta corriente está dada por la siguiente ecuación [35] [38]:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot Reg_I}{\% \Delta V \cdot V_{sist}} \quad (20)$$

Donde: S es el área de la sección transversal en $[mm^2]$, L es la longitud desde el modulo fotovoltaico hasta el arreglo de baterías, Reg_I es la corriente máxima producida por el

arreglo de módulos fotovoltaicos, $\rho = 0.0277 \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$ es la conductividad del cobre, $\% \Delta V$ es la caída de tensión porcentual máxima permisible y V_{sist} es la tensión del sistema.

3.6.15. Dimensionamiento del conductor entre el banco de baterías y el inversor

El cable que conecta la batería al inversor en un sistema fotovoltaico debe tener la capacidad de soportar la corriente máxima que ingresa al inversor. Esta corriente máxima está dada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P_{inv}}{V_{sist} \cdot \eta_{inv}} \quad (21)$$

Donde: P_{inv} es la potencia máxima del inversor, V_{sist} es la tensión del sistema y η_{inv} es la eficiencia del inversor.

3.6.16. Dimensionamiento del conductor entre el inversor y la carga

El cable que conecta el inversor con la carga en un sistema fotovoltaico debe tener la capacidad de soportar la corriente máxima que el inversor puede producir a plena carga. Esta corriente máxima está dada por la siguiente ecuación:

$$I_{max} = \frac{P_{inv}}{V_{AC} \cdot PF} \quad (22)$$

Donde: P_{inv} es la potencia máxima del inversor, V_{AC} es la tensión de corriente alterna del sistema y PF es el factor de potencia.

3.6.17. Protecciones eléctricas en sistemas solares fotovoltaicos

Las protecciones eléctricas en los sistemas solares fotovoltaicos son fundamentales para garantizar la seguridad de todo el sistema y sus componentes. Estas protecciones ayudan a prevenir cortocircuitos, sobrecargas y otras condiciones adversas que puedan dañar los equipos o representar un riesgo para las personas. Además, aseguran el correcto funcionamiento del sistema en caso de fallas o eventos inesperados, maximizando su eficiencia y prolongando su vida útil [39].

En un sistema solar fotovoltaico *off-grid*, es común utilizar varias protecciones eléctricas para garantizar un funcionamiento seguro y confiable del sistema. Algunas de las protecciones más utilizadas incluyen:

- **Fusibles:** Se instalan en el circuito de corriente continua (CC) entre los paneles solares y el regulador de carga, así como entre el regulador de carga y las baterías, para proteger contra cortocircuitos y sobrecargas.

- **Disyuntor termomagnéticos:** Se coloca en el circuito de corriente alterna (CA) entre el inversor y la carga, para proteger contra cortocircuitos y sobrecargas en el lado de CA del sistema.
- **Protector contra sobretensiones transitorias (DPS):** Se instala en la entrada de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA) del sistema para proteger contra sobretensiones transitorias causadas por rayos u otros eventos eléctricos.
- **Interruptor de corte de corriente continua (CC):** Se utiliza para aislar el sistema fotovoltaico de la carga y las baterías durante el mantenimiento o en caso de emergencia [40] - [43].

3.7. Análisis de riesgo eléctrico

El análisis de riesgo eléctrico es un proceso sistemático que se realiza para identificar, evaluar y mitigar los posibles riesgos relacionados con la electricidad en un entorno determinado [44]. Este análisis involucra la identificación de fuentes de peligro eléctrico, la evaluación de las posibles consecuencias de esos peligros y la implementación de medidas preventivas para reducir o eliminar los riesgos identificados. El objetivo principal del análisis de riesgo eléctrico es garantizar la seguridad de las personas, los equipos y las instalaciones frente a posibles peligros eléctricos [45].

3.7.1. Norma técnica colombiana NTC 2050

La NTC 2050, en su sección sobre análisis de riesgo eléctrico, establece los procedimientos y criterios para evaluar los posibles peligros y riesgos asociados con las instalaciones eléctricas. Esto implica identificar y evaluar los riesgos potenciales de descargas eléctricas, incendios, sobrecargas, cortocircuitos y otros eventos adversos que puedan surgir durante la operación o mantenimiento de las instalaciones. El objetivo principal del análisis de riesgo eléctrico según la NTC 2050 es garantizar un entorno seguro para el trabajo con instalaciones eléctricas y prevenir accidentes y lesiones relacionadas con la electricidad.

3.7.2. RETIE

El RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) es una regulación colombiana que establece los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de instalaciones eléctricas. El Capítulo 2 del RETIE, en su artículo 9º, aborda el análisis de riesgos de origen eléctrico en las instalaciones eléctricas. Este artículo establece la obligación de realizar un análisis de riesgos eléctricos en todas las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, con el fin de identificar y evaluar los posibles peligros asociados con la electricidad. Además, se establecen los requisitos para la elaboración de un plan de gestión de riesgos eléctricos, que debe contener medidas para controlar y mitigar los riesgos identificados durante el análisis.

3.7.3. Efectos de la corriente sobre el cuerpo humano

Cuando una persona entra en contacto con corriente eléctrica, distintas partes del cuerpo son afectadas de manera desigual. La piel, como primera barrera, sufre quemaduras, desde superficiales hasta profundas, dependiendo de la intensidad de la corriente. Los músculos se contraen involuntariamente, dificultando liberarse del contacto, lo que puede resultar en daños musculares y respiratorios. La corriente altera el sistema de conducción cardíaca, induciendo fibrilación ventricular y parada cardíaca. En el sistema nervioso, la interferencia eléctrica provoca una gama de síntomas, desde mareos y pérdida de conciencia hasta daños en órganos como riñones y ojos [46].

En la Imagen 4 tomada de la NTC 4120, con referente IEC 60479-2, se detallan las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.

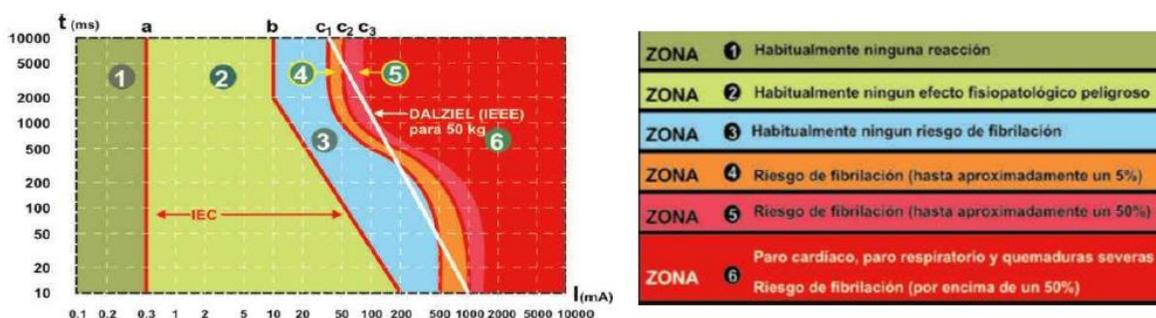


Imagen 4. Zona de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas [47], [48].

3.7.4. Factores de riesgo eléctrico más comunes

En la Tabla 1 se muestran los riesgos eléctricos más comunes:

	<p>RIESGO: ARCOS ELÉCTRICOS.</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar gafas de protección contra rayos ultravioleta.</p>
	<p>RIESGO: CONTACTO INDIRECTO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.</p>

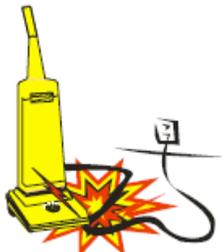
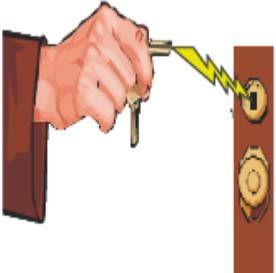
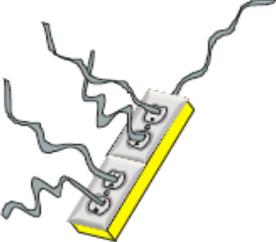
	<p>RIESGO: CORTOCIRCUITO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>
	<p>RIESGO: ELECTRICIDAD ESTÁTICA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p>
	<p>RIESGO: EQUIPO DEFECTUOSO</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p>
	<p>RIESGO: SOBRECARGA</p> <p>POSIBLES CAUSAS: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles, dimensionamiento adecuado de conductores y equipos.</p>

Tabla 1. Factores de riesgo eléctrico más comunes [44].

3.7.5. Matriz de análisis de riesgos

Con el fin de evaluar el nivel o grado de riesgo de tipo eléctrico, se puede aplicar la siguiente matriz para la toma de decisiones (Imagen 5). La metodología a seguir en un caso en particular, es la siguiente:

- a. Definir el factor de riesgo que se requiere evaluar o categorizar.
- b. Definir si el riesgo es potencial o real.
- c. Determinar las consecuencias para las personas, económicas, ambientales y de imagen de la empresa. Estimar dependiendo del caso particular que analiza.
- d. Buscar el punto de cruce dentro de la matriz correspondiente a la consecuencia (1, 2, 3, 4, 5) y a la frecuencia determinada (a, b, c, d, e): esa será la valoración del riesgo para cada clase.
- e. Repetir el proceso para la siguiente clase hasta que cubra todas las posibles pérdidas.
- f. Tomar el caso más crítico de los cuatro puntos de cruce, el cual será la categoría o nivel del riesgo.
- g. Tomar las decisiones o acciones, según lo indicado en la Imagen 6.

RIESGO A EVALUAR:	por (a) o (en)					FRECUENCIA					
	EVENTO O EFECTO (Ej: Quemaduras)			FACTOR DE RIESGO (CAUSA) (Ej: Arco eléctrico)		FUENTE (Ej: Celda de 13,8 kV)					
POTENCIAL <input type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>									
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
Molesta funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO		

Evaluador: _____ NP: _____ Fecha: _____

Imagen 5. Factores de riesgo eléctrico más comunes [44].

COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	Muy alto	Inadmisibles para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volver a valorarlo en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y autoriza su realización, mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	Alto	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	Medio	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	Bajo	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué puede salir mal o fallar? • ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? • ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	Muy bajo	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades.

Imagen 6. Factores de riesgo eléctrico más comunes [44].

3.7.6. Medidas de seguridad contra el riesgo eléctrico.

Tanto la NTC 2050 como el RETIE establecen una serie de medidas de seguridad para mitigar el riesgo eléctrico en las instalaciones. Estas medidas incluyen, entre otras:

- Uso de dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos, como interruptores diferenciales y fusibles.
- Implementación de sistemas de puesta a tierra adecuados para disipar corrientes de falla y prevenir descargas eléctricas.
- Utilización de materiales y equipos eléctricos certificados que cumplan con los estándares de seguridad establecidos.
- Aislamiento adecuado de conductores eléctricos para prevenir contactos accidentales.
- Señalización adecuada de riesgos eléctricos y zonas peligrosas.
- Capacitación y entrenamiento del personal en medidas de seguridad eléctrica y procedimientos de emergencia.

4. METODOLOGÍA

La metodología proporciona una guía sistemática para abordar y resolver los objetivos planteados, delineando los pasos a seguir en el proceso de investigación y desarrollo.

Actividad 1: Medición del terreno y archivo fotográfico.

Actividad 2: Corroboración de las mediciones con Google Earth y Google Maps.

Actividad 3: Diseño del plano de la huerta con el software AutoCAD.

Actividad 4: Estudio e investigación sistemas de riego por goteo.

Actividad 5: Investigación sistemas de riego que implementan controladores de riego y válvulas solenoides.

Actividad 6: Diseño de sistema de riego por goteo automatizado implementando controladores de riego y válvulas solenoides.

Actividad 7: Análisis del impacto económico al implementar riego por goteo automatizado con controladores de riego y válvulas solenoides.

Actividad 8: Investigación sistemas de riego que usan Arduino.

Actividad 9: Diseño de sistema de riego por goteo automatizado con Arduino.

Actividad 10: Análisis económico del riego por goteo automatizado con Arduino.

Actividad 11: Estudio de consumo energético de la huerta y lista de cargas.

Actividad 12: Investigación datos de irradiancia y condiciones climáticas

Actividad 13: Selección de los elementos que conformarán el sistema solar fotovoltaico, tales como, inversor, paneles, baterías y conductores.

Actividad 14: Diseño del sistema solar fotovoltaico.

Actividad 15: Análisis económico del sistema solar fotovoltaico.

Actividad 16: Visita a la huerta para tomar fotos y buscar evidencias de riesgo.

Actividad 17: Diseñar una matriz de riesgo; con el fin de clasificar el riesgo. Este puede ser: Alto, medio o bajo.

Actividad 18: Diseñar un plan de seguridad.

Actividad 19: Recomendaciones, sugerencias y estrategias para llevar a cabo el plan de seguridad.

Actividad 20: Capacitación y documentación.

Actividad 21: Cambios y Correcciones

5. DISEÑO SISTEMA DE RIEGO

5.1. Plano Arquitectónico

Mediante un proceso de inspección in situ, se llevó a cabo el levantamiento aproximado del plano arquitectónico de la huerta, empleando herramientas convencionales de medición como una cinta métrica y niveles de mano. En la parte superior de la Imagen 7 se encuentra el invernadero, actualmente reacondicionado como salón de reuniones, seguido por la zona destinada al restaurante. En la parte inferior se representa la extensa y empinada área de la huerta, con una superficie efectiva de $540[m^2]$.

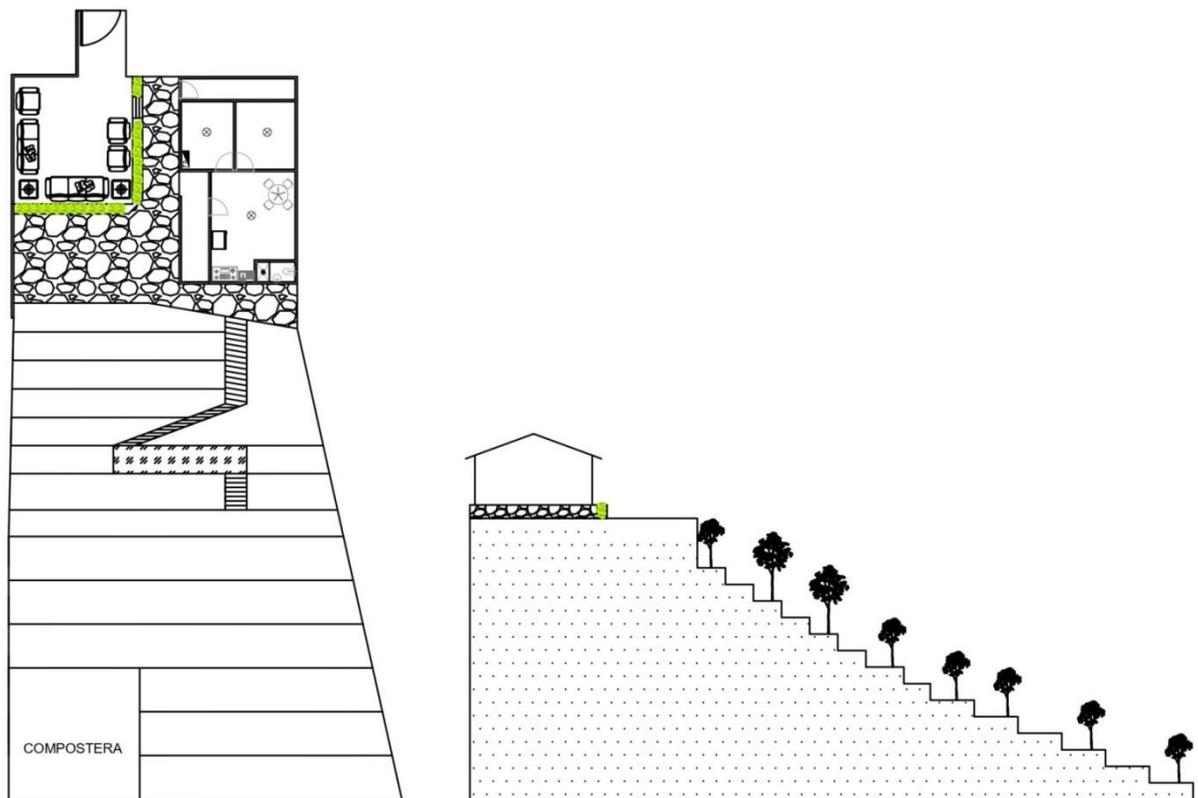


Imagen 7. Plano arquitectónico.

5.2.División del terreno de la huerta por bloques

Dada la variedad de plantas que se cultivan en la huerta, se ha dividido el terreno en 5 diferentes bloques, como se muestra en la Imagen 8.

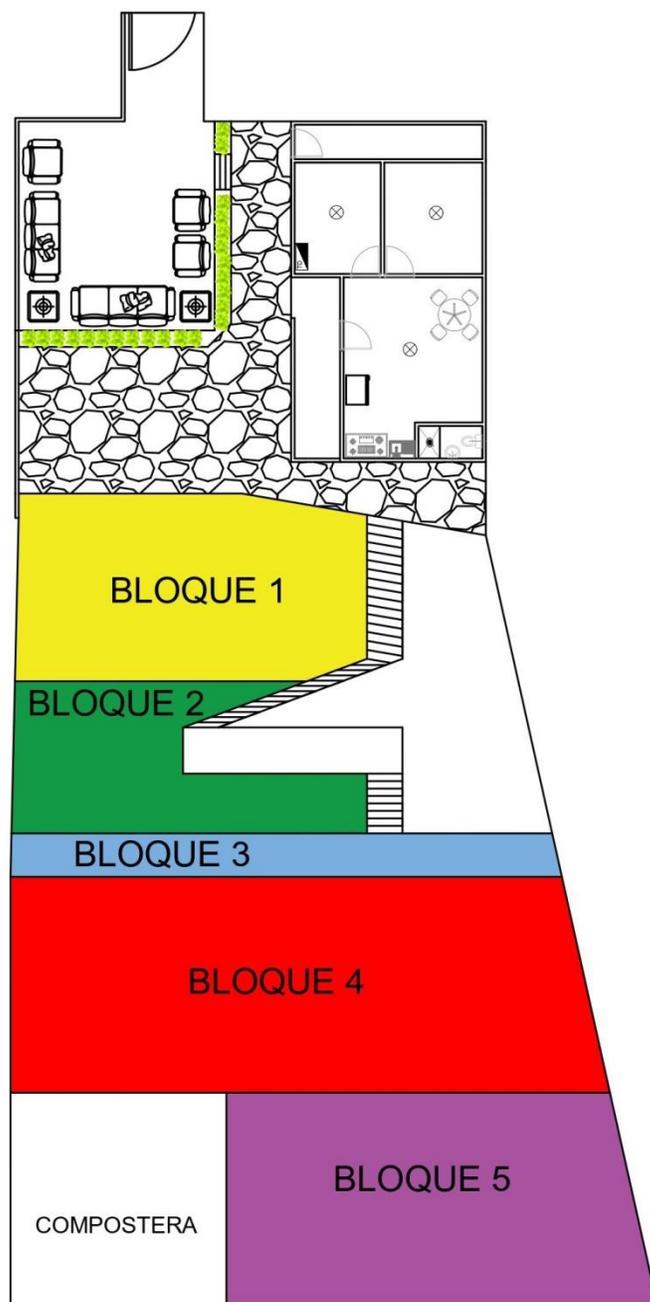


Imagen 8. División de la huerta por bloques.

5.2.1. Bloque 1: Tubérculos, papas

Los tubérculos, son estructuras subterráneas que se forman en algunas plantas, generalmente en el sistema de raíces. Almacenan nutrientes como almidón y carbohidratos, esenciales para el crecimiento y reproducción de la planta. Además de su función en la supervivencia de la planta durante condiciones adversas, los tubérculos también son cosechados y consumidos como alimentos por los seres humanos.

La papa es la hortaliza más cultivada a nivel mundial y el cuarto cultivo más importante para la alimentación humana, después del arroz, el maíz y el trigo. Consumida principalmente como fuente de carbohidratos, la papa también contribuye significativamente al aporte de vitamina C debido a su alto consumo per cápita [49].

En general la papa se cultiva a una distancia de 80[cm] entre líneas laterales y se dejan de 20 a 30 [cm] entre plantas. La profundidad de plantación usual es de 6 a 10 [cm]. En promedio, este tipo de plantas demandan al menos 8900[m³] de agua por hectárea en al menos 12 riegos, con una frecuencia media de 10 días, de acuerdo a la zona.

En condiciones promedio, el requerimiento hídrico de una planta de papa oscila entre 0,2 y 0,3[l/h], considerando una humedad relativa del 90% [50], [51]. Por lo tanto, se sugiere el uso de goteros de la marca Netafim con un caudal nominal de 0,5[l/h]. En el diseño propuesto, se prevé la instalación de dos laterales por cama en un bloque que consta de cuatro camas, totalizando ocho laterales numerados del 1 al 8

5.2.2. Bloque 2: Cebolla y ajo

La cebolla y el ajo son cultivos que requieren un suministro constante de agua para su crecimiento y desarrollo óptimos. Ambos tienen necesidades hídricas similares, ya que necesitan una humedad adecuada en el suelo para formar bulbos de buena calidad. Además, prefieren suelos bien drenados y no toleran el encharcamiento. Por lo tanto, en términos de manejo del agua, se pueden tratar de manera similar en cuanto a la frecuencia y cantidad de riego.

Por lo general, El ajo se siembra a una distancia entre laterales de 50 o 70[cm] entre sí, con una distancia entre plantas que fluctúa entre 5 y 10[cm]. La cebolla se siembra a una distancia entre laterales de 60 o 80[cm] entre sí y la distancia entre plantas fluctúa entre 5 y 15[cm]. Requiere riegos frecuentes. La cebolla demanda de al menos 8600[m³] de agua por hectárea en no menos de 23 riegos [50].

En condiciones promedio, el requerimiento hídrico de las plantas de cebolla y ajo oscila entre 0,2 y 0,4[l/h], considerando una humedad relativa de entre el 70 y el 75% [50], [51]. Por lo tanto, se sugiere el uso de goteros de la marca Netafim con un caudal nominal de

0,5[l/h]. En el diseño propuesto, se prevé la instalación de tres laterales por cama en un bloque que consta de tres camas, excepto la última cama que cuenta con cuatro laterales, totalizando diez laterales numerados del 1 al 10.

5.2.3. Bloque 3: Árboles de ají.

Los árboles de ají, también conocidos como pimientos o chiles, son plantas perennes que producen frutos picantes o dulces, dependiendo de la variedad. Estas plantas pueden alcanzar alturas variables según la especie y las condiciones de cultivo, generalmente entre 0,5 a [m]. Prefieren climas cálidos y soleados, y son cultivados por sus frutos que se utilizan en la cocina para agregar sabor y picante a diversos platos. Son resistentes y requieren riegos frecuentes para un crecimiento óptimo y una buena producción de frutos. Por lo general, los árboles de ají se plantan a una distancia entre hileras de 50 a 80 [cm] y una distancia entre árboles de 50 a 60[cm], dependiendo de la variedad y las condiciones del suelo. Requieren riegos frecuentes, especialmente durante su fase de crecimiento activo y durante la formación y maduración de los frutos.

En condiciones promedio, el requerimiento hídrico de las plantas de ají oscila entre 2 y 5 [l/h], considerando una humedad relativa de entre el 80 y el 90% [50], [51]. Por lo tanto, se sugiere el uso de goteros de la marca Toro con un caudal nominal de 4[l/h]. En el diseño propuesto, se prevé la instalación de dos laterales, este bloque cuenta con una sola cama.

5.2.4. Bloque 4: Lechuga, espinaca y acelga

La lechuga, la espinaca y la acelga son vegetales de hojas verdes comestibles. Requieren un suministro constante de agua para un crecimiento óptimo. Estas plantas son consideradas cultivos de hojas tiernas y, por lo tanto, necesitan mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo para un desarrollo saludable y para evitar problemas como el estrés hídrico, que puede afectar negativamente su calidad y rendimiento. Estas plantas prefieren suelos bien drenados y ricos en materia orgánica, y se desarrollan mejor en climas templados con temperaturas moderadas.

La espinaca se siembra a una distancia entre laterales de 60 a 70 [cm] entre sí, con una distancia entre plantas que varía entre 20 y 25 [cm]. La acelga se siembra a una distancia entre laterales de 60 a 70 cm entre sí, con una distancia entre plantas de 25 y 30[cm]. En promedio, la lechuga se siembra a una distancia entre plantas que oscila entre 20 y 30[cm] y demanda 5700[m³], en 20 riegos con una frecuencia media de 5 días [49].

En condiciones promedio, el requerimiento hídrico de las plantas de lechuga, espinaca y acelga oscila entre 0,5 y 1,5[l/h], considerando una humedad relativa de entre el 80 y el 90% [50], [51]. Por lo tanto, se sugiere el uso de goteros de la marca Toro con un caudal

nominal de $2[l/h]$. En el diseño propuesto, se prevé la instalación de seis laterales por cama en un bloque que consta de tres camas, totalizando dieciocho laterales.

5.2.5. Bloque 5: frutales de limón

Los cultivos de limón requieren un suministro constante de agua para mantener la turgencia de las hojas y el desarrollo adecuado de los frutos. Sin embargo, es importante evitar el encharcamiento del suelo, ya que esto puede provocar problemas de pudrición de raíces y reducir la calidad de los frutos. Un sistema de riego bien diseñado y gestionado es crucial para evitar el estrés hídrico y promover una producción saludable de frutos.

Por lo general, los árboles frutales de limón se plantan a una distancia entre hileras de 4 a 6[m] y una distancia entre árboles de 1 a 5[m], dependiendo de la variedad y las condiciones del suelo. Requieren riegos frecuentes, especialmente durante su fase de crecimiento activo y durante la formación y maduración de los frutos. La cantidad de agua necesaria puede variar según el clima y el tipo de suelo, pero en promedio, un huerto de limón puede requerir al menos 5000 a 8000[m³], de agua por hectárea por temporada de cultivo, distribuidos en varios riegos.

En condiciones promedio, el requerimiento hídrico de los árboles de limón oscila entre 5 y 10[l/h], considerando una humedad relativa de entre el 75 y el 80% [50], [51]. Por lo tanto, se sugiere el uso de goteros de la marca toro con un caudal nominal de 8[l/h]. En el diseño propuesto, se prevé la instalación de un lateral por cama, este bloque cuenta con tres camas.

En la Tabla 2 se resumen las características del sistema de goteo para los diferentes bloques.

Bloque	Separación plantas [m]	Separación hileras [m]	Área efectiva [m ²]	Caudal goteros $\left[\frac{l}{h}\right]$
1	0,2	0,7	82,11	0,5
2	0,15	0,7	49,58	0,5
3	0,5	0,75	30,79	4
4	0,15	0,25	152,94	2
5	1	2	115,88	8

Tabla 2. Información del cultivo por bloque.

5.3. Disposición física de las tuberías

Para la disposición física de las tuberías en el sistema de riego por goteo de la huerta comunitaria, se propone la instalación de una tubería principal, también conocida como primaria. Esta tubería principal estará ubicada a lo largo de un costado de la huerta para facilitar el acceso y la distribución del agua. Desde la tubería principal, se ramificarán las tuberías secundarias, una para cada bloque o área específica de cultivo. Estas tuberías secundarias llevarán el agua hacia los distintos sectores de la huerta. A su vez, de las tuberías secundarias se derivarán los laterales, que son las tuberías más pequeñas encargadas de distribuir el agua de manera uniforme a lo largo de las hileras de cultivo. Cada lateral estará equipado con los goteros necesarios para suministrar la cantidad adecuada de agua a las plantas. En la Imagen 9 se presenta la distribución física de las tuberías.

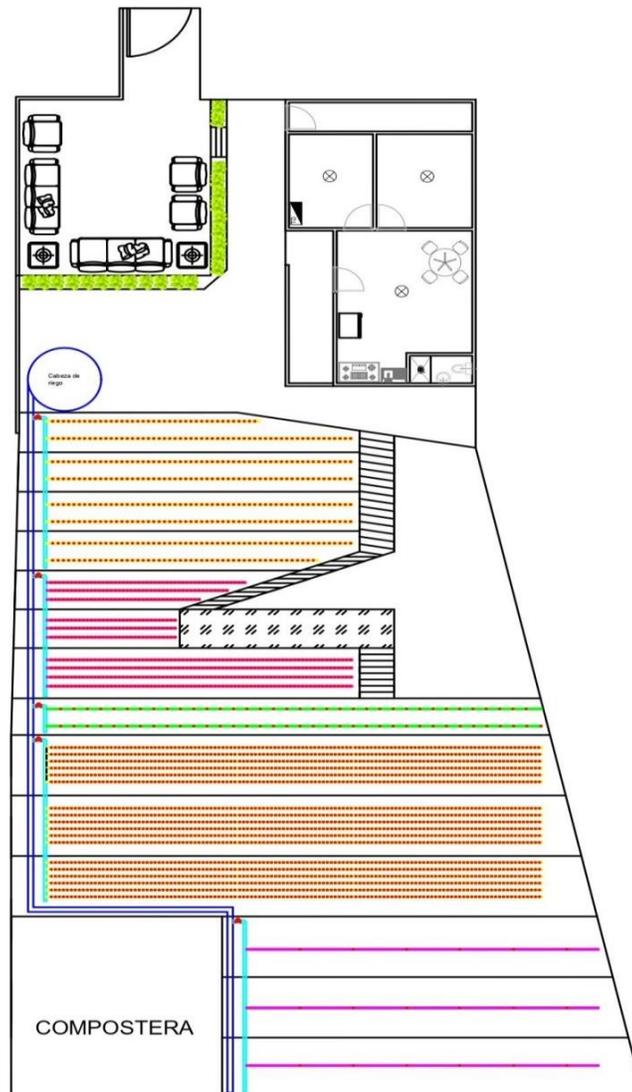


Imagen 9. Distribución física de las tuberías.

5.4. Tubería tipo manguera de PVC marca PLAxCO

La manguera cristal calibre 40 de PVC de la marca Plaxco es un tubo transparente fabricado con policloruro de vinilo (PVC) de alta calidad y resistencia. Su calibre 40 indica su grosor y resistencia, lo que la hace adecuada para una variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas de riego, conducción de líquidos, y uso en la industria. Gracias a su transparencia, permite la visualización del flujo interno, lo que facilita la inspección y monitoreo del líquido que transporta. Esta manguera ofrece durabilidad, flexibilidad y facilidad de instalación, convirtiéndola en una opción versátil y confiable para diversas aplicaciones. Por sus características se propone el uso de este tipo de tubería para el sistema de riego de la huerta y en la Imagen 10 se presenta un resumen de sus características.



LÍNEA
Industrial
MODELO
Manguera Cristal Calibre 40
APLICACIÓN
Para transporte y descargue de líquidos, fluidos nobles, gases, aire y aceites, suministros para peceras, forros para guayas, pasos de nivel en construcción, entre otras
VENTAJAS
Dócil y liviana, resistente a los rayos U.V, agentes oxidantes, bases y ácidos débiles



		DATOS TÉCNICOS												
DIMENSIONES	DIÁMETRO INTERNO	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1"	1" 1/4	1" 1/2	2"
		3,1mm	3,9mm	4,7mm	6,3mm	7,9mm	9,5mm	12,7mm	15,8mm	19mm	25,4mm	31,7mm	38,1mm	50,8mm
		4,9mm	5,7mm	7,3mm	9,1mm	11,1mm	12,9mm	15,7mm	19,8mm	23,2mm	30,4mm	37,5mm	44,9mm	57,8mm
		0,9mm	0,9mm	1,3mm	1,4mm	1,6mm	1,7mm	1,5mm	2mm	2,1mm	2,5mm	2,9mm	3,4mm	3,5mm

Imagen 10. Ficha técnica tubería PLAxCO [52].

5.5. Cálculo de presiones para goteros más desfavorables

El cálculo de la presión en los goteros más desfavorables es crucial en el diseño del sistema de riego por goteo. La presión en los goteros afecta directamente la uniformidad de la distribución del agua en la parcela. Un diseño adecuado de la presión garantiza que cada gotero proporcione la cantidad necesaria de agua de manera uniforme en toda la parcela.

Si la presión es demasiado alta, puede resultar en un exceso de caudal de agua en algunos goteros, lo que lleva a una distribución desigual y posible desperdicio de agua. Por otro lado, una presión insuficiente puede causar que algunos goteros suministren menos agua de la necesaria, afectando la salud de las plantas en esas áreas.

Para el proyecto se escogieron dos tipos de goteros: goteros NGESF de la marca Toro Micro-Irrigation y goteros PCJ drippers de la marca Netafim. A continuación sus especificaciones técnicas.

5.5.1. Goteros NGE SF de la marca Toro Micro-Irrigation

El gotero NGE SF es un gotero auto compensado de alta precisión, diseñado para su uso en viñedos, huertos, viveros, invernaderos y jardines. El diseño de este gotero permite que se limpie automáticamente desaguándose al momento de presurizar y despresurizar el sistema de riego. Además, previene la ingesta de suelo, brindando protección adicional contra el taponamiento [53]. En las Imágenes 11 y 12 se presentan Rango de operatividad de presiones y Especificaciones técnicas de este tipo de goteros respectivamente.

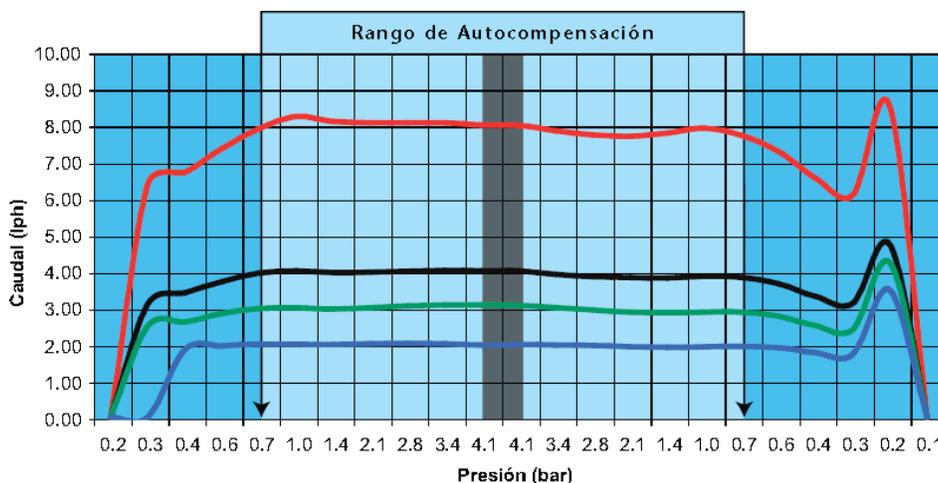


Imagen 11. Rango de operatividad de presiones de los goteros NGE SF [53].

ESPECIFICACIONES

Caudal Nominal (Q)	DPC02	DPC03	DPC04	DPC08
gph	0.5	0.8	1.0	2.1
lph	2.0	3.0	4.0	8.0
Rango de Presión Recomendado (P)				
psi	de 8 a 60 psi			
bar	de 0.6 a 4.1 bar			
Especificaciones del Gotero				
Exponente del Gotero (x)	0.000	0.001	0.000	0.002
Coefficiente de Variación (Cv)	≤ 3%			
Filtración Mínima Requerida				
Mesh	120			
Micrones	125			
Salida Opcional	- MA (Adaptador macho) / - DC (Tapón guarda polvo)			
Color	Azul	Verde	Negro	Rojo

Imagen 12. Especificaciones técnicas de los goteros [53].

5.5.2. Goteros PCJ drippers de la marca Netafim

Los Goteros PCJ Drippers de la marca Netafim son dispositivos de riego por goteo diseñados para proporcionar un suministro preciso y eficiente de agua a las plantas. Estos goteros están fabricados con materiales de alta calidad y ofrecen una excelente resistencia a la obstrucción y durabilidad a largo plazo. Presentan un diseño innovador que garantiza una distribución uniforme del agua en el suelo, lo que ayuda a maximizar la absorción de nutrientes por parte de las plantas y a reducir el desperdicio de agua. Los Goteros PCJ Drippers son fáciles de instalar y mantener, lo que los convierte en una opción ideal para una amplia variedad de aplicaciones de riego en agricultura, horticultura y paisajismo, en la Imagen 13 se presenta un resumen de su hoja de especificaciones [54].

DRIPPERS TECHNICAL DATA

PCJ drippers

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM ²)	CONSTANT K	EXPONENT* X	BASE CODE COLOR	CAP COLOR CODE
0.5	0.5 – 4.0	0.54 x 0.60 x 40	1.8	0.5	0	Mustard	Black
1.2	0.5 – 4.0	0.67 x 0.77 x 35	2.0	1.2	0	Brown	Black
2.0	0.5 – 4.0	1.03 x 0.75 x 35	2.0	2.0	0	Red	Black
3.0	0.5 – 4.0	1.03 x 1.08 x 35	2.0	3.0	0	Blue	Black
4.0	0.5 – 4.0	1.32 x 0.95 x 35	2.0	4.0	0	Gray	Black
8.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 35	2.0	8.0	0	Green	Black
12.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 17.5	2.0	12.0	0	Fuchsia	Black
15.0	0.5 - 4.0	1.60 x 1.08 x 17	2.0	15.0	0	Black	Black

Imagen 13. Especificaciones técnicas de los goteros Netafim [54].

5.5.3. Rango de presiones permisibles

Según la ficha técnica de los goteros propuestos para el sistema de riego, se establece que la presión mínima necesaria para un funcionamiento adecuado es de 0,5[bar]. Es esencial asegurar que los goteros del primer lateral del bloque uno operen por encima de esta presión. Además, se indica que la presión máxima permitida es de 4,1[bar]. Se debe garantizar que los goteros del último lateral del bloque 5 no excedan esta presión. Para garantizar las presiones se realizarán cálculos utilizando principios fundamentales de la mecánica de fluidos, como la ecuación de la continuidad, la ecuación de Bernoulli y la ecuación general de la energía.

5.6.Cálculos sistema de riego

Para realizar los cálculos, primero se determinan los caudales en los laterales de cada bloque multiplicando la cantidad de goteros por el caudal nominal de estos. Una vez obtenido este caudal, se puede dimensionar el diámetro de la tubería lateral, asegurándonos de que la velocidad esté dentro del rango de 0,3 a 3 metros por segundo. Luego, con el caudal de los laterales, se calcula el caudal y el diámetro de la tubería secundaria, por último, de manera similar, se suman los caudales de las tuberías secundarias y se obtiene el caudal y diámetro de la tubería primaria.

Una vez conocido el caudal total necesario para la huerta, se procede a dimensionar el tanque de almacenamiento. Por último, se aplican las ecuaciones de Bernoulli y la ecuación de Darcy-Weisbach para garantizar la presión de operación adecuada para los goteros menos favorecidos.

5.6.1. Cálculo del caudal y diámetro de las tuberías del bloque 1

Se asume una velocidad de $0,5 \left[\frac{m}{s} \right]$ para laterales, $1 \left[\frac{m}{s} \right]$ para tuberías secundarias y $2 \left[\frac{m}{s} \right]$ para la primaria.

$$Q_l = Q_g \cdot N_g \quad ; \quad D = \left(\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$Q_{l1} =$ Caudal lateral L1

$$Q_{l1} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 39 [\text{goteros}] = 19,5 \left[\frac{l}{h} \right] = 5,416 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l1} = \left(\frac{4 \cdot Q_l}{\pi \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4 \cdot \left(5,416 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right] \right)}{\pi \cdot \left(0,5 \left[\frac{m}{s} \right] \right)} \right)^{\frac{1}{2}} = 3,71 [mm]$$

$$Q_{l2-7} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 57 [\text{goteros}] = 28,5 \left[\frac{l}{h} \right] = 7,9167 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l2-7} = 4,48 [mm]$$

$$Q_{l8} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 50 [\text{goteros}] = 25 \left[\frac{l}{h} \right] = 6,944 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l8} = 4,205 [mm]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería terciaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{5}{32} [inch] = 3,9 [mm]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

$Q_{S1} =$ Caudal tubería secundaria del bloque 1

$$Q_{S1} = Q_{l1} + Q_{l2-7} + Q_{l8} = 2,027 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{S1} = \text{Diámetro tubería secundaria del bloque 1} = 5,08 [mm]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería secundaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{3}{16}$ [inch] = 4,7[mm] Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

5.6.2. Cálculo del caudal y diámetro de las tuberías del bloque 2

$$Q_{l1} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 49 [\text{goteros}] = 24,5 \left[\frac{l}{h} \right] = 6,806 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l1} = 4,163[\text{mm}]$$

$$Q_{l2} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 45 [\text{goteros}] = 22,5 \left[\frac{l}{h} \right] = 6,25 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l2} = 3,989[\text{mm}]$$

$$Q_{l3} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 38 [\text{goteros}] = 19 \left[\frac{l}{h} \right] = 5,27 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l3} = 3,663[\text{mm}]$$

$$Q_{l4-6} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 32 [\text{goteros}] = 16 \left[\frac{l}{h} \right] = 4,44 * 10^{-6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l4-6} = 3,362[\text{mm}]$$

$$Q_{l7-10} = 0,5 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 76 [\text{goteros}] = 38 \left[\frac{l}{h} \right] = 1,056 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{l7-10} = 5,186[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería terciaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{5}{32}$ [inch] = 3,9[mm] Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

$$Q_{S2} = Q_{l1} + Q_{l2} + Q_{l3} + Q_{l4-6} + Q_{l7-10} = 120 \left[\frac{l}{h} \right] = 3,33 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{S2} = 6,511[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería secundaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{1}{4}$ [inch] = 6,3[mm] Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

5.6.3. Cálculo del caudal y diámetro de las tuberías del bloque 3

$$Q_l = 4 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 36 [\text{goteros}] = 144 \left[\frac{l}{h} \right] = 4 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_l = 10[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería terciaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{3}{8}[\text{inch}] = 9,5[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

$$Q_{S3} = 144 \left[\frac{l}{h} \right] * 2 \text{ laterales} = 288 \left[\frac{l}{h} \right] = 8 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{S3} = 10,09[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería secundaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{3}{8}[\text{inch}] = 9,5[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

5.6.4. Cálculo del caudal y diámetro de las tuberías del bloque 4

$$Q_l = 2 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 123 [\text{goteros}] = 246 \left[\frac{l}{h} \right] = 6,833 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_l = 13,191[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería terciaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{1}{2}[\text{inch}] = 12,7[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

$$Q_{S4} = 246 \left[\frac{l}{h} \right] * 18 \text{ laterales} = 4428 \left[\frac{l}{h} \right] = 0,00123 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{S4} = 27,98[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería secundaria manguera de PVC marca PLAXCO de $1[\text{inch}] = 25,4[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

5.6.5. Cálculo del caudal y diámetro de las tuberías del bloque 5

$$Q_l = 8 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 12 [\text{goteros}] = 96 \left[\frac{l}{h} \right] = 2,67 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_l = 8,245[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería terciaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{5}{16} [\text{inch}] = 7,9[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

$$Q_{S5} = 96 \left[\frac{l}{h} \right] * 7 \text{ laterales} = 672 \left[\frac{l}{h} \right] = 1,869 * 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_{S5} = 15,426[\text{mm}]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería secundaria manguera de PVC marca PLAXCO de $\frac{5}{8} [\text{inch}] = 15,8[\text{mm}]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

En la Tabla 2 se resume el diámetro de las tuberías primaria y secundarias por bloque

Bloque	Diámetro tuberías laterales	Diámetro tuberías secundarias
1	$\frac{5}{32} [\text{inch}] = 3,9[\text{mm}]$	$\frac{3}{16} [\text{inch}] = 4,7[\text{mm}]$
2	$\frac{5}{32} [\text{inch}] = 3,9[\text{mm}]$	$\frac{1}{4} [\text{inch}] = 6,3[\text{mm}]$
3	$\frac{3}{8} [\text{inch}] = 9,5[\text{mm}]$	$\frac{3}{8} [\text{inch}] = 9,5[\text{mm}]$
4	$\frac{1}{2} [\text{inch}] = 12,7[\text{mm}]$	$1 [\text{inch}] = 25,4[\text{mm}]$
5	$\frac{5}{16} [\text{inch}] = 7,9[\text{mm}]$	$\frac{5}{8} [\text{inch}] = 15,8[\text{mm}]$

Tabla 3. Diámetro tuberías por bloque.

5.7. Cálculo del caudal y diámetro de la tubería primaria

$Q_p =$ Caudal tubería primaria

$$Q_p = Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{S3} + Q_{S4} + Q_{S5} = 5581 \left[\frac{l}{h} \right] = 0,00155 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$D_p = \left(\frac{4 \cdot Q_r}{\pi \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4 \cdot \left(0,00155 \left[\frac{m^3}{s} \right] \right)}{\pi \cdot \left(2 \left[\frac{m}{s} \right] \right)} \right)^{\frac{1}{2}} = 31,412 [mm]$$

*Teniendo en cuenta los resultados. Se propone para la tubería primaria manguera de PVC marca PLAXCO de $1\frac{1}{4} [inch] = 31,7 [mm]$ Es un diámetro comercial y la velocidad se encuentra dentro de los rangos permisibles.

Con este diámetro la velocidad en la tubería primaria es $V_p = 1,9639 \left[\frac{m}{s} \right]$

5.8. volumen o capacidad del tanque de almacenamiento

La determinación de la capacidad o volumen del tanque de agua en un sistema de riego por goteo depende principalmente de la demanda total de agua para el riego. Esto está relacionado con la cantidad de agua que los cultivos necesitan y la frecuencia de riego.

$$Q = \frac{v}{t} \quad (23)$$

Donde Q es el caudal, v es el volumen del tanque y t es el tiempo de riego

Supondremos un caso extremo, en cual se riega la totalidad de la huerta de forma simultanea durante 3,5 horas.

$$v = 5581 \left[\frac{l}{h} \right] * 3,5 \text{ horas} = 19533 [l] = 19,533 [m^3]$$

5.9. Tanque cilíndrico Colempaques

El tanque cilíndrico de Colempaques, ver Imagen 14, con una capacidad de 20000[l], es una solución confiable para almacenar agua en proyectos residenciales, agrícolas o industriales. Fabricado con materiales de alta calidad, este tanque garantiza durabilidad y resistencia a la intemperie y a los elementos. Su diseño cilíndrico facilita la instalación en diferentes entornos, ocupando un espacio mínimo. Ideal para asegurar un suministro constante de agua para diversas aplicaciones.



Ficha técnica

Dimensiones

Diámetro	2.95 m
Largo	2.95 m
Alto	2.85 m
Ancho	2.95 m
Dimensiones	291x305 cm

Imagen 14. Tanque 20000 litros de Colempaques [55].

5.10. Cálculo de la presión y elevación del tanque de almacenamiento

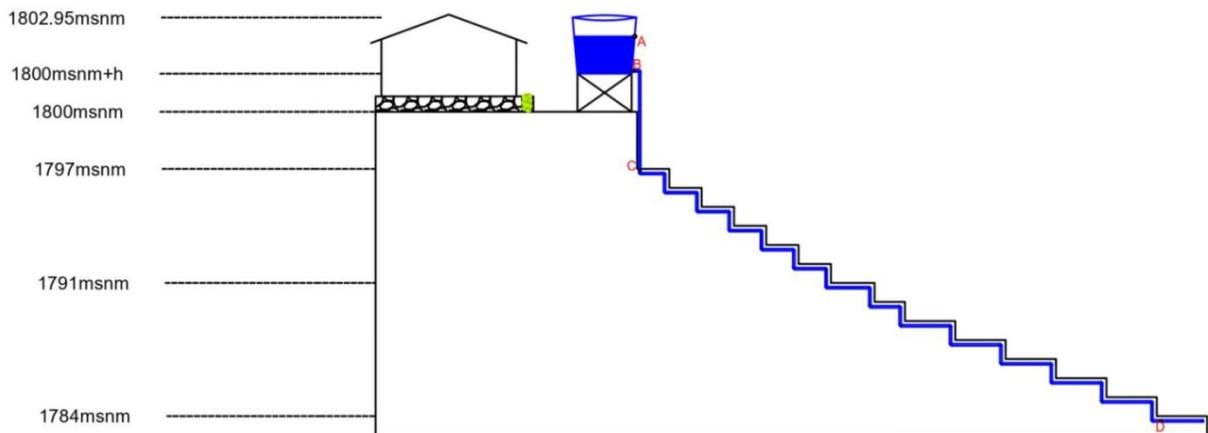


Imagen 15. Vista lateral del sistema de riego con tanque.

Para los cálculos de la presión se tendrán 4 puntos de interés que se muestran en la Imagen 15: El punto "A" que corresponde al nivel de agua en el tanque. El punto "B" que corresponde a la salida del tanque, este punto se encuentra elevado una altura "h" que es de nuestro interés hallar esta altura de forma que se garantice la presión en el punto "C". El punto "C" corresponde a la entrada del bloque 1, es importante que en este punto la presión sea mayor o igual a $7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$. Por último el punto "D" corresponde a la entrada del bloque 5. En este punto la presión no debe ser mayor a $42887 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$.

Considerando que el nivel de agua en el tanque estará 2 metros por encima del punto matemáticamente: $Z_A = Z_B + 2$

Entonces, conocemos los siguientes datos:

$$Z_A = Z_B + 2$$

$$Z_B = 1800 + h$$

$$Z_C = 1797[m]$$

$$P_C = 10[psi] = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$V_C = V_B = V_P = 1,9639 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$D_P = 0,0317[m]$$

$$\varepsilon = \text{Rugosidad absoluta PVC} = 0,00015 [m]$$

$$\nu = \text{viscosidad cinematica} = 1,141 * 10^{-6} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Aplicamos la ecuación de Bernoulli (1) entre los puntos B y C

$$\frac{P_B}{\rho} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} - H_L = \frac{P_C}{\rho} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g}$$

Reemplazando y despejando:

$$P_B = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right] + 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [1797 - (1800 + h) + H_L]$$

Calculamos las perdidas por fricción H_L

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = 54610,2$$

$$f = \frac{0,25}{\left\{ \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right\}^2} = 0,0319$$

$$H_L = \frac{0,08263 \cdot f \cdot l}{D^5} \cdot Q^2 = \frac{0,08263 \cdot 0,0319 \cdot (3 + h)}{0,0317^5} \cdot 0,00155^2 = 0,1978(3 + h)$$

Reemplazando H_L

$$P_B = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right] + 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [1797 - (1800 + h) + 0,1978(3 + h)]$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos A y B

$$\frac{P_A}{\rho} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

$$P_B = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [2 + 0,1965] = 2196,5 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

Reemplazando en 1 obtenemos la altura a la cual se debe elevar el tanque para garantizar la presión mínima en el punto C.

$$h = 3[m]$$

Ahora se aplica la ecuación de Bernoulli entre los puntos C y D

$$\frac{P_C}{\rho} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g} - H_L = \frac{P_D}{\rho} + Z_D + \frac{V_D^2}{2g}$$

Reemplazando y despejando:

$$P_D = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right] + 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [1797 - 1784 - H_L]$$

Se calculan las pérdidas por fricción H_L

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = 54610,2$$

$$f = \frac{0,25}{\left\{ \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right\}^2} = 0,0319$$

$$H_L = \frac{0,08263 \cdot f \cdot l}{D^5} \cdot Q^2 = \frac{0,08263 \cdot 0,0319 \cdot (37)}{0,0317^5} \cdot 0,00155^2 = 7,3197$$

$$P_D = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right] + 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [1797 - 1784 - 7,3197] = 12710 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

La presión en el punto D cumple con los requerimientos del diseño.

5.11. Cantidad de materiales y costos para sistema con tanque

En la Tabla 4 se detallan los materiales y costos para la instalación del sistema de riego con tanque de almacenamiento de agua

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Tanque 20000L	1	20'937.900	20'937.900
Tubería 5/32	168m	790	132.720
Tubería 3/16	7m	810	5.670
Tubería 1/4	8m	1.290	10.320
Tubería 5/16	40m	1.490	59.600
Tubería 3/8	40m	1.990	79.600
Tubería 1/2	342m	3.690	1'261.980
Tubería 5/8	8m	3.890	31.120
Tubería 1	8m	4.290	34.320
Tubería 1 ¼	37m	4.590	169.830
TE reductora 3/16 a 5/32	8	5.000	40.000
TE reductora 1/4 a 5/32	10	5.000	50.000
TE reductora 1 a 1/2	18	5.000	90.000
TE reductora 5/8 a 5/16	3	5.000	15.000
TE reductora 1 ¼ a 3/16	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 1/4	1	5.00	5.000
TE reductora 1 ¼ a 1	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 5/8	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 3/8	1	5.000	5.000
TE 3/8	2	5.000	10.000
Electroválvula	5	140.000	700.000
Codo 1/4	6	7.500	45.000
Estructura para elevar tanque	1	500.000	500.000
		TOTAL	22'936.080

Tabla 4. Materiales sistema de riego con tanque.

Teniendo en cuenta que el tanque representa el gasto más significativo (el 95% del gasto total), junto con la necesidad de elevarlo a una altura de 3 metros para garantizar la presión adecuada, podría no ser económicamente viable a largo plazo. En lugar de ello, conectar el sistema directamente a la red pública de acueducto podría ser una opción más rentable, aprovechando la disponibilidad y la presión del agua suministrada por esta fuente externa.

5.12. Cálculo de la presión de entrada, con sistema conectado directamente a la red de acueducto por medio de válvula reguladora de presión

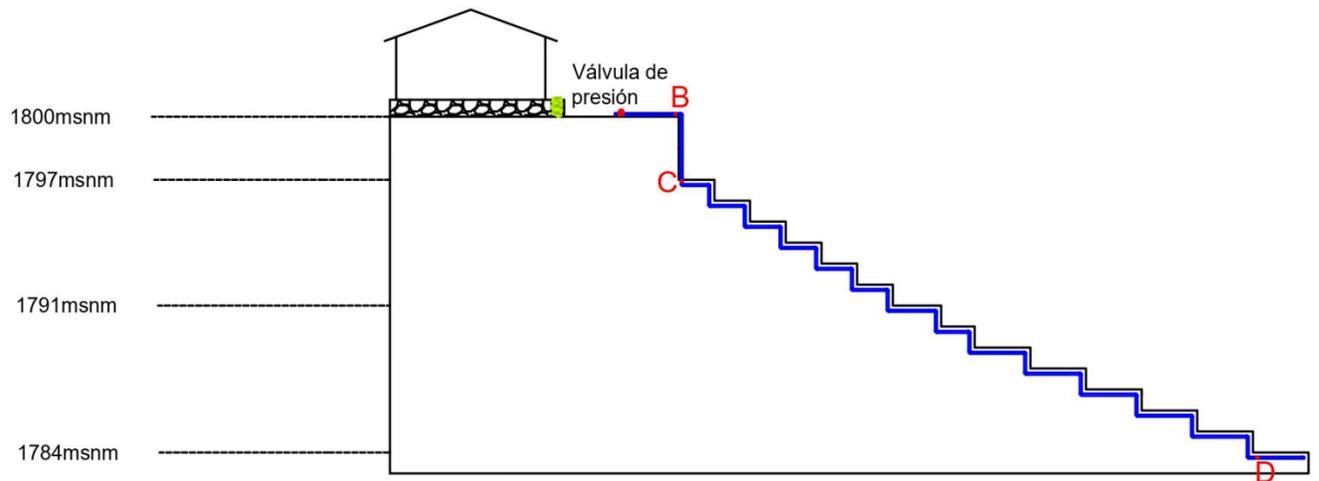


Imagen 16. Vista lateral del sistema de riego sin tanque.

Dado el alto costo asociado con la implementación de un tanque de almacenamiento en el diseño de la huerta, se sugiere como alternativa conectar el sistema directamente a la red de acueducto de EPM mediante el uso de una válvula reguladora de presión. Esta válvula permitirá controlar y ajustar la presión del agua entrante al sistema. Es importante calcular la presión mínima de operación requerida para esta válvula, asegurando así un funcionamiento adecuado del sistema de riego.

La válvula reguladora de presión se encuentra ubicada en el punto "B". Se Calcula la presión mínima de operación en dicho punto.

Se conocen los siguientes datos:

$$Z_B = 1800[m]$$

$$Z_C = 1797[m]$$

$$P_C = 10[psi] = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$P_D = 12710 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$V_C = V_B = V_P = 1.9639 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$H_L = 0.5934$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos B y C

$$\frac{P_B}{\rho} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} - H_L = \frac{P_C}{\rho} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g}$$

$$P_B = 7030 \left[\frac{kg}{m^2} \right] + 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] [(1997 - 1800) + 0,5934] = 4623,4 \left[\frac{kg}{m^2} \right] = 6,576 [psi]$$

5.13. Válvula reguladora de presión

Una válvula reguladora, también llamada válvula de control, es un dispositivo que gestiona y regula el flujo de fluidos en un sistema para mantener condiciones específicas como la presión, el caudal o la temperatura dentro de rangos deseados. Específicamente, una válvula reguladora de presión de agua controla y reduce la presión del agua en un sistema mediante un mecanismo interno que ajusta la apertura de la válvula para mantener una presión constante en la salida, independientemente de las fluctuaciones en la entrada. Este proceso asegura un suministro de agua estable y protege los dispositivos conectados.

5.14. Válvula reguladora de presión marca RV Guard

La válvula reguladora de presión marca RVGuard, modelo RGWPR001, ver Imagen 17, es un dispositivo diseñado para controlar y mantener la presión del agua dentro de un sistema en niveles específicos y deseados. Su funcionamiento se basa en un mecanismo interno que ajusta la apertura de la válvula en respuesta a las variaciones de presión en la entrada, con el objetivo de mantener una presión constante en la salida. Esta acción puede implicar tanto la reducción como el aumento de la presión según sea necesario para cumplir con los requisitos del sistema. La válvula regula el flujo de agua a través de ajustes precisos en su apertura, garantizando así un suministro de agua estable y confiable en la salida, incluso ante cambios en las condiciones de entrada.



Imagen 17. Válvula reguladora de presión [56].

5.15. Electroválvula de la marca Toro Micro-Irrigation, serie 254/264

La electroválvula de la serie 254/264 de micro-irrigación de la marca Toro es una válvula diseñada específicamente para sistemas de riego de baja presión, como los sistemas de riego por goteo o micro aspersión. Fabricada en plástico resistente, esta válvula es ideal para aplicaciones de riego donde se requiere una operación confiable y duradera. Con una capacidad de operación de 24 VAC (voltios de corriente alterna), esta electroválvula es adecuada para su uso con controladores de riego estándar y proporciona una excelente eficiencia energética. Su diseño compacto y de fácil instalación la hace ideal para aplicaciones en espacios reducidos o en sistemas de riego de jardines y paisajes [34]. En Colombia el precio de la válvula es de aproximadamente 140 mil pesos colombianos. A continuación, las especificaciones de la electroválvula y en la Imagen 18, la electroválvula:

Franja de caudales recomendada: 19-170 L/min

Presión: de 1,4 a 10 bares

Solenóide: 50/60 Hz (24 V.A.C.)

Consumo al arranque: 0,30 amperios, 7,2 VA

Consumo de mantenimiento: 0,20 amperios, 4,8 VA

Dimensiones: 115 x 115 mm (alto por ancho)



Imagen 18. Electroválvula toro serie 256/264 [57].

5.16. Cantidad de materiales y costos para sistema conectado directamente a la red de acueducto

En la tabla 5 se detallan los materiales y costos para la instalación del sistema de riego sin tanque de almacenamiento de agua

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Válvula reguladora de presión	1	500.000	500.000
Tubería 5/32	168m	790	132.720
Tubería 3/16	7m	810	5.670
Tubería 1/4	8m	1.290	10.320
Tubería 5/16	40m	1.490	59.600
Tubería 3/8	40m	1.990	79.600
Tubería 1/2	342m	3.690	1'261.980
Tubería 5/8	8m	3.890	31.120
Tubería 1	8m	4.290	34.320
Tubería 1 ¼	37m	4.590	169.830
TE reductora 3/16 a 5/32	8	5.000	40.000
TE reductora 1/4 a 5/32	10	5.000	50.000
TE reductora 1 a 1/2	18	5.000	90.000
TE reductora 5/8 a 5/16	3	5.000	15.000
TE reductora 1 ¼ a 3/16	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 1/4	1	5.00	5.000
TE reductora 1 ¼ a 1	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 5/8	1	5.000	5.000
TE reductora 1 ¼ a 3/8	1	5.000	5.000
TE 3/8	2	5.000	10.000
Electroválvula	5	140.000	700.000
Codo 1/4	6	7.500	45.000
Codo 1 ¼	38	14.000	532.000
		TOTAL	2'530.180

Tabla 5. Materiales sistema de riego sin tanque

5.17. Consideraciones del diseño

Primero se tiene la limitación relacionada con el cálculo de las necesidades hídricas de las plantas que se debe a la naturaleza técnica y especializada de la agronomía, se requiere un profundo entendimiento de los factores ambientales y biológicos que influyen en el consumo de agua por parte de las plantas. La falta de experiencia en este campo puede llevar a estimaciones inexactas de las necesidades de riego, lo que podría resultar en un suministro insuficiente o excesivo de agua, afectando así el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Se sugiere una validación adicional con un experto competente en el área.

Por otro lado, la limitación de conexión a la red de acueducto implica una restricción en el alcance del diseño del sistema de riego, ya que se requiere una infraestructura adicional y una planificación logística que puede estar fuera del ámbito de competencia del ingeniero electricista. Esta conexión a la red pública de agua implica consideraciones como permisos municipales, instalación de válvulas y tuberías, y posiblemente costos adicionales de mantenimiento y operación, lo que puede añadir complejidad y tiempo al proyecto. Se sugiere una validación adicional del diseño propuesto por parte de un experto legalmente competente en el área.

6. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

Después de completar los cálculos hidráulicos para determinar las presiones operativas y los diámetros de las tuberías en el sistema de riego automatizado, el siguiente paso implica abordar la parte eléctrica y de control. El objetivo es analizar una variedad de sensores de humedad del suelo para seleccionar el más adecuado en función de las necesidades específicas y el costo del proyecto. La atención se centra únicamente en la medición de la humedad, y se prevé la automatización del sistema mediante la integración con la plataforma Arduino.

6.1. Sensor de humedad resistivo YL-69

El sensor de humedad del suelo YL-69 es un dispositivo resistivo utilizado para medir la humedad del suelo en proyectos de agricultura automatizada y sistemas de riego, ver Imagen 19. Este sensor es compatible con Arduino y otros microcontroladores, lo que facilita su integración en sistemas automatizados [58]. Proporciona lecturas de humedad relativa del suelo que pueden ser utilizadas para activar o desactivar sistemas de riego según las necesidades de la planta. Es un dispositivo económico y fácil de usar. En Colombia su precio varía entre 4 y 8 mil pesos [59].

El sensor de humedad del suelo YL-69 presenta una serie de ventajas que lo hacen atractivo para proyectos de automatización de riego. Es económico, fácil de usar y compatible con Arduino. Además, proporciona lecturas estables de humedad relativa del suelo y está ampliamente disponible en el mercado. Sin embargo, el YL-69 también tiene algunas limitaciones importantes a considerar. Su precisión puede ser limitada en comparación con sensores más avanzados, y puede ser sensible a la corrosión y contaminación del suelo. Además, su rango de medición puede ser limitado, lo que puede no ser adecuado para todas las aplicaciones de monitoreo de humedad del suelo [60].

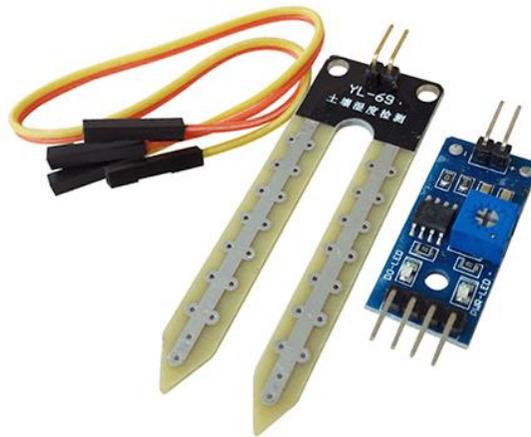


Imagen 19. Sensor YL-69 [59].

6.2. Sensor de humedad capacitivo Vegetronix VH400

El sensor de humedad del suelo Vegetronix VH400 es un dispositivo capacitivo diseñado para medir de manera precisa y confiable la humedad del suelo, es conocido por su alta precisión y estabilidad, así como por su durabilidad en una amplia gama de condiciones ambientales, ver Imagen 20. Ofrece una interfaz analógica que permite una fácil integración con sistemas de control y adquisición de datos, como Arduino. Además, el sensor es resistente al agua y a la corrosión, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos agrícolas al aire libre [61]. Sin embargo, su costo puede ser más elevado en comparación con otros sensores de humedad del suelo, lo que puede ser una consideración importante para proyectos con presupuestos limitados. Además, la configuración inicial y la calibración del sensor pueden requerir más tiempo y esfuerzo, y su dependencia de la alimentación eléctrica puede ser una limitación en entornos donde la energía es limitada o no está disponible.



Imagen 20. Sensor Vegetronix VH400 [62].

6.3. Sensor de humedad capacitivo SENO193

El sensor de humedad del suelo de tipo capacitivo SENO193 es un dispositivo diseñado para medir la humedad del suelo de manera precisa y eficiente, ver Imagen 21. Utiliza la tecnología capacitiva para detectar cambios en la humedad del suelo y proporciona lecturas digitales de humedad que pueden ser fácilmente integradas en proyectos electrónicos [63]. Este sensor es especialmente útil en aplicaciones agrícolas y de jardinería, donde es crucial monitorear y controlar el nivel de humedad del suelo para optimizar el crecimiento de las plantas y la eficiencia del riego. Con su diseño compacto y resistente, el SENO193 es fácil de instalar en el suelo y ofrece una respuesta rápida a los cambios en las condiciones de humedad.

A pesar de sus ventajas, el sensor puede presentar un costo inicial más elevado en comparación con otros tipos de sensores de humedad del suelo. Además, puede ser sensible a la salinidad del suelo, lo que podría afectar la precisión de las mediciones en ciertos entornos [64]. También puede requerir calibración periódica para mantener la precisión de

las mediciones a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones de suelo. Por último, dado que es un sensor electrónico, requiere alimentación eléctrica, lo que puede ser una limitación en entornos sin acceso a energía eléctrica. En Colombia, su precio aproximado es de 40 mil pesos [65].



Imagen 21. Sensor DRFROBOT SENO193 [65].

6.4. Elección del sensor

El precio es el primer aspecto clave a tener en cuenta al elegir el sensor, siendo el sensor resistivo YL-69 el más económico, con un rango de precios actualmente entre 4 y 8 mil pesos colombianos, mientras que el sensor capacitivo SENO193 tiene un precio aproximado de 40 mil pesos colombianos. Ambos sensores tienen precios bastante asequibles.

Por otro lado, se considera la durabilidad y la resistencia, donde el sensor resistivo tiende a ser más susceptible a la corrosión y la contaminación del suelo, lo que hace que el sensor de tipo capacitivo sea superior en este aspecto. Dado que ambos sensores son asequibles, creemos que a largo plazo el sensor capacitivo resulta más rentable, ya que requiere un tiempo mayor antes de necesitar ser reemplazado. Por lo tanto, se ha decidido seleccionar este sensor para nuestro proyecto.

6.5. Calibración del sensor SENO193

El fabricante del sensor "DFROBOT", establecido en Shanghai, China, desde su fundación en 2008, proporciona en su documentación técnica una serie de procedimientos destinados a la calibración del sensor de forma rápida y práctica. Para la calibración es necesario una placa de Arduino, el sensor, el cableado para la conexión entre el sensor y el Arduino, por último, el software Arduino IDE V1.6.5 [66].

6.5.1. Especificaciones

Voltaje de funcionamiento: 3,3 ~ 5,5[VCC]

Voltaje de salida: 0 ~ 3,0 [VCC]

Corriente de funcionamiento: 5[mA]

Dimensiones: 3,86 x 0,905[inch] (largo x ancho)

Peso: 15[g]

6.5.2. Diagrama de conexión

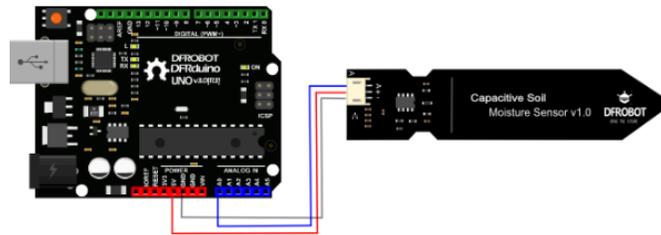


Imagen 22. Conexión Arduino y sensor SEN0193 [66].

6.5.3. Código calibración

A continuación, el código de Arduino brindado por el fabricante, en el cual establece la comunicación serial a una velocidad de 9600 [bps] en la función “*setup()*.” En el bucle principal, se lee el valor analógico de un sensor conectado, en este caso, al pin analógico 0 y se imprime este valor en el utilizando “*Serial.println(val)*”, permitiendo la visualización de los datos en un monitor serie. El bucle se ejecuta continuamente con un retraso de 100 milisegundos entre lecturas.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate as 9600 bps  
}  
void loop() {  
  int val;  
  val = analogRead(0); //connect sensor to Analog 0  
  Serial.println(val); //print the value to serial port  
  delay(100);  
}
```

6.5.4. Pasos para la calibración

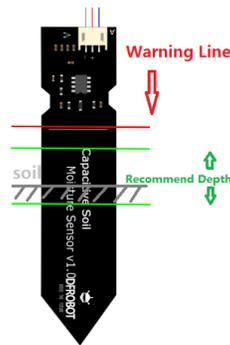


Imagen 23. Rango de calibración [66].

1. Abra el monitor del puerto serie y establezca la velocidad en baudios en 9600
2. Registre el valor del sensor cuando la sonda esté expuesta al aire como "Valor 1". Este es el valor límite del suelo seco "Humedad: 0% RH"
3. Tome un vaso de agua e inserte la sonda en él no más allá de la línea roja en la imagen 23.
4. Registre el valor del sensor cuando la sonda esté expuesta al agua como "Valor 2". Este es el valor límite del suelo húmedo "Humedad: 100% RH"

6.6. Calibración por el método gravimétrico

Otra forma, más precisa para la calibración del sensor de humedad SEN0193 es mediante el método gravimétrico la cual implica establecer una relación entre las lecturas del sensor y el contenido de humedad real del suelo. Para llevar a cabo este proceso, se seleccionan varias muestras representativas del suelo y se pesan inicialmente para determinar su masa húmeda. Luego, las muestras se secan completamente en un horno para eliminar toda la humedad. Después de secarlas, se vuelven a pesar para determinar su masa seca. La diferencia entre las masas húmedas y secas se utiliza para calcular el contenido de humedad del suelo en términos de porcentaje de humedad [67]. Estas mediciones gravimétricas se comparan con las lecturas del sensor SEN0193 tomadas en condiciones similares, lo que permite ajustar las lecturas del sensor para reflejar con precisión el contenido de humedad del suelo. Este proceso garantiza que las mediciones del sensor sean consistentes y confiables en diversas condiciones de humedad del suelo [68].

La principal diferencia entre estos métodos radica en su enfoque y precisión. Mientras que el proceso descrito por el fabricante proporciona una calibración rápida y práctica utilizando el propio sensor, el método gravimétrico ofrece una precisión mucho mayor al medir directamente el contenido de humedad del suelo. El método gravimétrico es más preciso ya que no depende de la respuesta del sensor a las condiciones ambientales, pero requiere más tiempo y esfuerzo para llevar a cabo.

6.7. Relé De Estado Solido SSR-25 Fotek

El relé de estado sólido SSR-25 DA 25A 24-380VAC de Fotek es un dispositivo electrónico que permite controlar cargas de corriente alterna (CA) de hasta 25[A] y voltajes en el rango de 24 a 380[V]. Este relé elimina la necesidad de partes móviles y contactos mecánicos, ya que utiliza componentes de estado sólido, lo que garantiza una mayor vida útil y una operación silenciosa. Es especialmente útil en aplicaciones donde se requiere una conmutación rápida y precisa, como en sistemas de control de temperatura, sistemas de iluminación, equipos de automatización industrial y proyectos de Arduino [69]. A continuación la Imagen 24 es ilustrativa del relé y sus especificaciones.

Voltaje de entrada: 3-32[VDC]

Voltaje de salida: 24-380[VAC]

Corriente de salida: 25[A]

Dimensiones: 62 x 44 x 23 [mm] (largo x ancho x alto)

Peso: 115[g]



Imagen 24. Relee de estado sólido marca Fotek [69].

6.8. Esquema eléctrico básico del sistema de riego

En la Imagen 25 se ilustra la conexión básica del sistema eléctrico

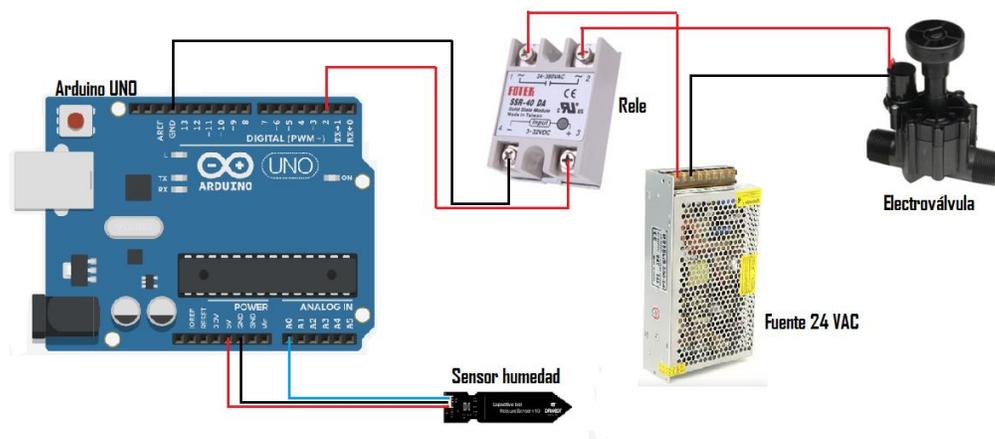


Imagen 25. Esquema de conexión básico.

En primer lugar, el sistema eléctrico de riego comienza con un controlador, en este caso, un Arduino Uno. El controlador se conecta a un sensor de humedad capacitivo, utilizando la entrada de 5V, el neutro y una entrada analógica. Cuando el sensor de humedad detecta una humedad relativa mayor a un umbral establecido, envía una señal al Arduino. Este último, mediante una salida digital, activa un relé. El relé, a su vez, controla la electroválvula: si la humedad es alta, el relé cierra la electroválvula, impidiendo el flujo de agua; si la humedad es baja, el relé abre la electroválvula, permitiendo el flujo de agua al sistema de riego.

Considerando que la huerta está dividida en 5 bloques, se optará por instalar dos sensores de humedad en cada uno de ellos. Utilizando el promedio de las lecturas obtenidas de estos dos sensores, se determinará si la electroválvula correspondiente a cada bloque debe abrirse o cerrarse. Esta decisión será gestionada mediante el uso de relés, los cuales serán controlados por el Arduino encargado de cada sección de la huerta.

6.9. Automatización sistema de riego

Para automatizar el sistema de riego con Arduino en Tinkercad, se emplean dos modos: automático y manual. En el modo automático, se utiliza la lectura de humedad relativa de los sensores para controlar el riego. Cada bloque tiene un nivel de humedad relativa deseado, y si la humedad está por encima de este valor, la electroválvula se cierra para detener el riego; si es menor, se abre para iniciar el riego hasta alcanzar el nivel deseado. Se colocarán dos sensores estratégicamente en cada bloque, cuyas lecturas se promediarán para determinar la apertura o cierre de la electroválvula. Los niveles de humedad relativa deseada para cada bloque son: bloque 1 (85%), bloque 2 (70%), bloque 3 (80%), bloque 4 (85%), y bloque 5 (75%).

Por otro lado, está el modo manual, activado por un interruptor o switch. Al encenderse un LED, se indica que el modo manual está activo. En este modo, el usuario puede decidir si regar o no un bloque mediante otro interruptor. En el anexo 1 se muestra detalladamente la automatización del sistema de riego. En la Imagen 26 se presenta el esquema de conexión en Tinkercad, este esquema corresponde a la automatización de un bloque, para los demás bloques el esquema de conexión es igual.

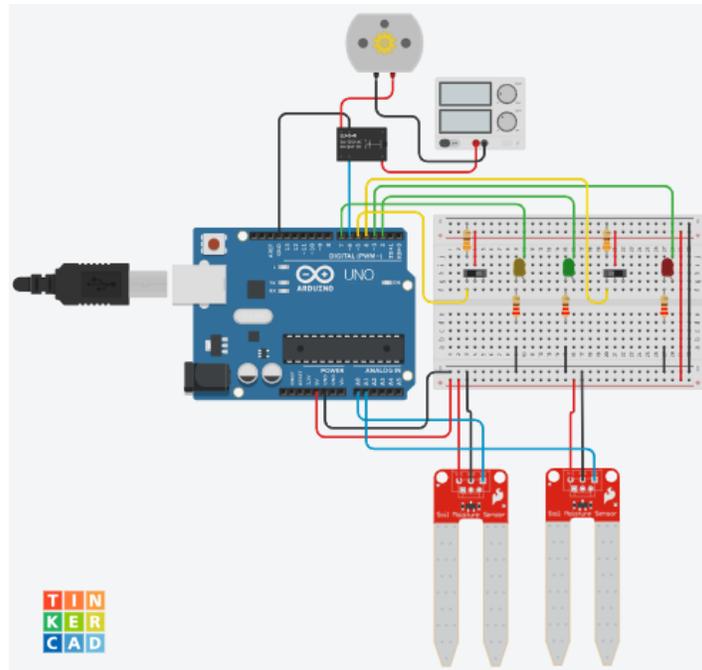


Imagen 26. Esquema de conexión en Tinkercad.

El sistema de automatización de la huerta consta de varios componentes interconectados para regular el riego de manera eficiente. El Arduino UNO funciona como el cerebro del sistema, supervisando los niveles de humedad del suelo y controlando las electroválvulas a través del Relé. Para fines prácticos, el motor CC reemplaza la función de la electroválvula. La fuente de poder suministra energía a las electroválvulas, mientras que los interruptores deslizantes permiten seleccionar entre los modos manual y automático, brindando al usuario control directo sobre el riego de cada área de la huerta. Los sensores de humedad monitorean constantemente los niveles de humedad en el suelo, promediando las lecturas de dos sensores por bloque para una estimación precisa. En el anexo 1 se proporciona una descripción detallada de la función de cada elemento y el código de programación.

6.10. Disposición física de los conductores eléctricos y sensores de humedad

Para la disposición física de tuberías que alojarán los conductores para sensores y electroválvulas, se deben considerar varias precauciones. Es esencial proteger los cables contra daños mecánicos, facilitar el acceso para mantenimiento, separar las corrientes eléctricas del agua, seguir normativas de seguridad eléctrica, planificar rutas eficientes y etiquetar claramente los cables y conexiones. Estas medidas aseguran un funcionamiento seguro y eficiente del sistema, minimizando riesgos de cortocircuitos, facilitando la identificación de problemas y optimizando el mantenimiento.

Se propone la instalación de una caja de paso adosada al muro para alojar componentes clave del sistema de riego automatizado. En esta caja se ubicarán dos placas de Arduino, una fuente de alimentación de corriente alterna y cinco relés, asignados individualmente a cada electroválvula del sistema. Desde la caja de paso, se extienden dos tuberías de PVC enterradas: una destinada a los conductores que alimentan las electroválvulas y otra para los sensores de humedad. Esta separación física es crucial, ya que los sensores de humedad llevan un cable de señal analógica que podría ser susceptible a interferencias electromagnéticas causadas por la tensión de 24 voltios de las electroválvulas. Los cables destinados a las electroválvulas incluyen línea y neutro, mientras que los cables de los sensores de humedad contienen línea, neutro y un conductor adicional para la señal analógica dirigida hacia las placas de Arduino. Esta disposición garantiza una distribución ordenada y segura de los componentes eléctricos, lo que facilita el mantenimiento y asegura un funcionamiento eficiente del sistema de riego automatizado. Una representación gráfica de esta disposición física se muestra en la Imagen 27.

En la imagen se muestra la tubería de PVC de color rojo, destinada a la alimentación de las electroválvulas, una por bloque, mientras que las tuberías de color verde están designadas para alimentar los sensores. Es crucial realizar el cálculo de la caída de tensión para determinar el calibre adecuado de los conductores. Además, la caja de paso debe ser resistente, ya que estará expuesta a la intemperie, y lo suficientemente amplia para albergar todos los elementos que contendrá.

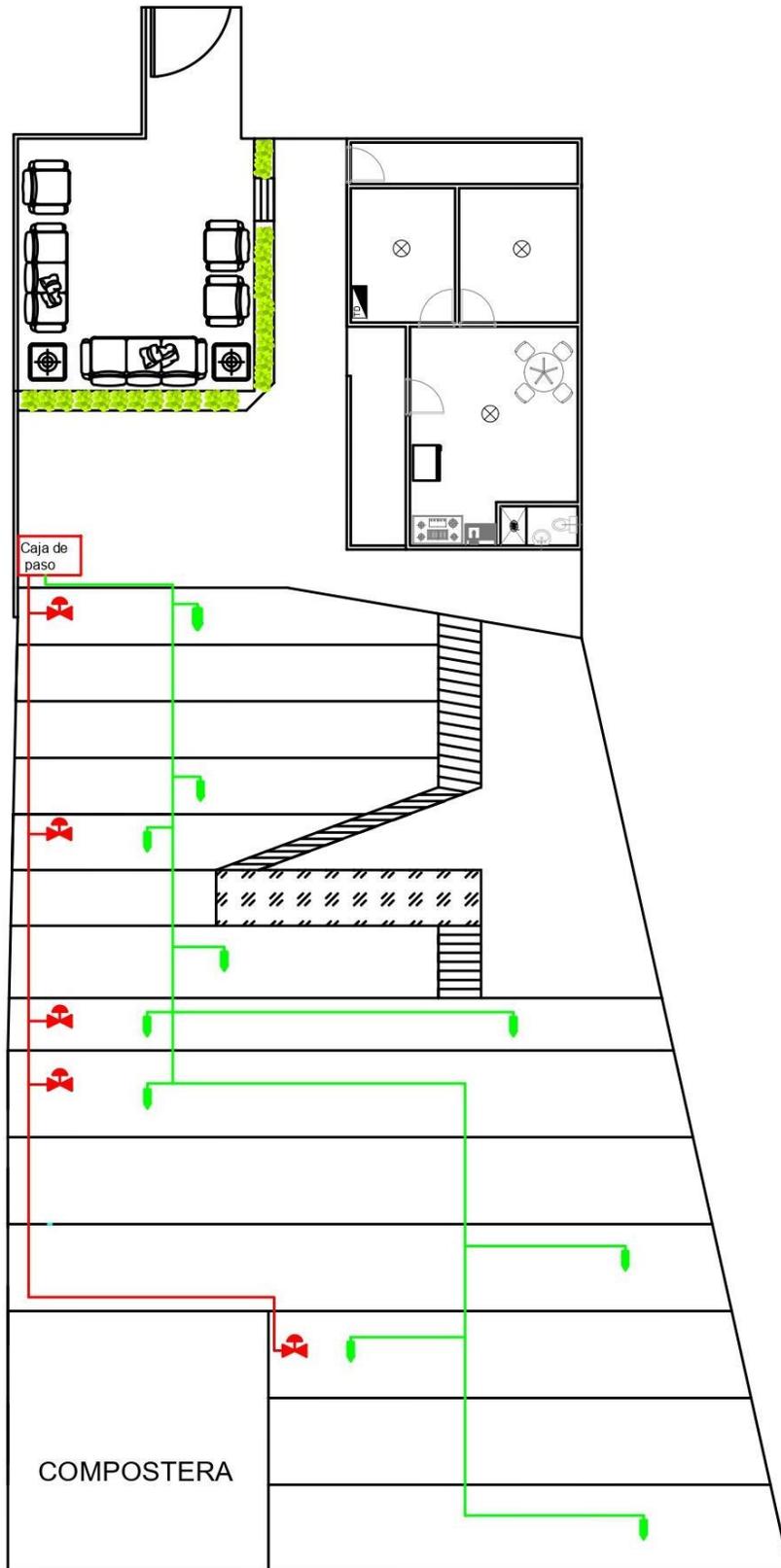


Imagen 27. Disposición física de los conductores eléctricos y sensores de humedad.

6.11. Cables de cobre THW-LS de la marca Centelsa.

Los cables THW-LS de la marca Centelsa son cables eléctricos diseñados para aplicaciones en instalaciones fijas. Están compuestos por conductores de cobre suave y un aislamiento de PVC (Policloruro de Vinilo) resistente a la humedad y a diferentes condiciones ambientales. La sigla "THW-LS" indica que estos cables son aptos para su instalación en ambientes húmedos y pueden ser enterrados directamente en el suelo. Son cables de baja tensión y se utilizan comúnmente en sistemas de distribución eléctrica, tanto en interiores como en exteriores. Los cables THW-LS de Centelsa cumplen con las normas Colombianas y los estándares de calidad requeridos para garantizar un funcionamiento seguro y confiable en diversas aplicaciones eléctricas [70]. En la Imagen 28 se observa la ficha técnica.

1. Conductor			2. Espesor Aislamiento	Resistencia DC a 20°C	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
Calibre	Cableado	Diámetro					THW-LS	THHW-LS
AWG/kcmil	No Hilos	mm	mm	Ohm/km	mm	kg/km	A	A
14	7	1,79	0,76	8,44	3,39	29	20	25
12	7	2,26	0,76	5,31	3,86	42	25	30
10	7	2,85	0,76	3,34	4,45	62	35	40
8	7	3,59	1,14	2,10	5,97	104	50	55
6	7	4,53	1,52	1,32	7,69	168	65	75
4	7	5,71	1,52	0,832	8,87	249	85	95
2	7	7,20	1,52	0,523	10,36	376	115	130
1/0	19	8,93	2,03	0,329	13,11	595	150	170
2/0	19	10,02	2,03	0,261	14,20	732	175	195
3/0	19	11,25	2,03	0,207	15,43	904	200	225
4/0	19	12,64	2,03	0,164	16,82	1121	230	260
250	37	14,18	2,41	0,139	19,14	1344	255	290
300	37	15,54	2,41	0,116	20,50	1590	285	320
350	37	16,78	2,41	0,0992	21,74	1836	310	350
400	37	17,93	2,41	0,0868	22,89	2080	335	380
500	37	20,05	2,41	0,0694	25,01	2567	380	430
600	61	22,00	2,79	0,0578	27,74	3094	420	475
750	61	24,59	2,79	0,0463	30,33	3821	475	535
1000	61	28,40	2,79	0,0347	34,14	5025	545	615

Imagen 28. Ficha técnica cable THW-LS de la marca CENTELSA [42].

6.12. Cables dúplex de cobre SPT RoHS de la marca Centelsa.

Los cables dúplex de cobre SPT RoHS de la marca Centelsa son conductores eléctricos diseñados para aplicaciones residenciales y comerciales. Cumplen con las normas de la Directiva Europea RoHS, lo que garantiza la ausencia de materiales peligrosos. Estos cables presentan dos conductores aislados con un revestimiento resistente al calor y al desgaste, permitiendo una fácil identificación y conexión. Son utilizados principalmente para la distribución de energía en sistemas eléctricos internos, como iluminación, enchufes y electrodomésticos [71]. En la Imagen 29 se puede observar su ficha técnica.

Conductor		Espesor de Aislamiento	Dimensiones Exteriores Aproximadas	Peso Total Aproximado	Ampacidad ⁽¹⁾
Calibre	Área				
AWG	mm	mm	mm	kg/km	A
2 x 22	0,32	0,51	1,86 x 3,72	14	4
2 x 20	0,52	0,51	2,06 x 4,12	20	7
2 x 18	0,82	0,64	2,59 x 5,18	28	10
2 x 16	1,31	0,64	2,93 x 5,86	40	13
2 x 14	2,08	0,64	3,34 x 6,68	58	18
2 x 12	3,31	0,64	3,88 x 7,76	85	25
2 x 10	5,26	0,76	5,60 x 11,20	148	30

Imagen 29. Ficha técnica cable dúplex de la marca CENTELSA [71].

6.13. Máxima cantidad de conductores admisible en tubería PVC

La máxima cantidad de conductores admisible en una tubería conduit de PVC es un aspecto crucial en el diseño de sistemas eléctricos. Esta especificación determina la capacidad de carga de la tubería y, por lo tanto, afecta la eficiencia y seguridad del sistema. Dicha capacidad se ve influenciada por el diámetro de la tubería, el tipo y tamaño de los conductores [72]. En Imagen 30 se puede observar la cantidad de conductores según el diámetro de la tubería [73].

MÁXIMA CANTIDAD DE CONDUCTORES ADMISIBLE EN TUBERÍA CONDUIT PVC TIPO A CABLES TW O THW Y THHN/THWN 90°C												
Calibre AWG o kcmil	DIÁMETRO NOMINAL DEL TUBO (Pulgadas, mm)											
	1/2 pulgada, 21 mm		3/4 pulgada, 26 mm		1 pulgada, 33 mm		1 1/4 pulgada, 42 mm		1 1/2 pulgada, 48 mm		2 pulgadas, 60 mm	
	TW, THW	THHN/ THWN 90°C	TW, THW	THHN/ THWN 90°C	TW, THW	THHN/ THWN 90°C	TW, THW	THHN/ THWN 90°C	TW, THW	THHN/ THWN 90°C	TW, THW	THHN/ THWN 90°C
14	11	16	18	27	31	44	51	73	67	96	105	150
12	8	11	14	19	24	32	39	53	51	70	80	109
10	6	7	10	12	18	20	29	33	38	44	60	69
8	3	4	6	7	10	12	16	19	21	25	33	40
6	1	3	3	5	6	8	9	14	13	18	20	28
4	1	1	2	3	4	5	7	8	9	11	15	17
2	1	1	1	1	3	3	5	6	7	8	11	12
1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	9
1/0	1	1	1	1	1	2	3	4	4	5	6	8
2/0	-	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6
3/0	-	-	1	1	1	1	1	2	3	3	4	5
4/0	-	-	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4
250	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	3	3
300	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	3
350	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	2
400	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	2
500	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1

Imagen 30. Máxima cantidad de conductores en tubería PVC [73].

6.14. Caja de paso 7E marca Plexo

La caja cuadrada 7E a presión Plexo es un dispositivo utilizado en instalaciones eléctricas para proteger y contener conexiones de cables y otros elementos eléctricos. Fabricada con materiales resistentes a la intemperie y al impacto, esta caja proporciona un ambiente seguro para los componentes eléctricos, incluso en condiciones adversas. Su diseño cuadrado y compacto facilita su instalación en diferentes ubicaciones. Además, cuenta con una tapa hermética que garantiza la protección contra la entrada de humedad y polvo, asegurando un funcionamiento confiable y duradero [74].

La caja cuadrada 7E a presión Plexo sería adecuada para el proyecto de la huerta debido a su resistencia a la intemperie y al impacto. Dado que el sistema de riego automatizado estará ubicado al aire libre, la caja proporcionaría un ambiente seguro y protegido para los componentes eléctricos, como Arduino, relés y otros dispositivos. Además, su diseño compacto facilitaría su instalación en el área de la huerta, y la tapa hermética garantizaría la protección contra la entrada de humedad y polvo, lo que contribuiría a un funcionamiento confiable y duradero del sistema.

6.15. Cálculos de caída de tensión para la electroválvula y sensor más desfavorables

Para asegurar el funcionamiento óptimo de los sensores de humedad y las electroválvulas, es fundamental realizar cálculos de la caída de tensión. Este proceso permite determinar la pérdida de voltaje a lo largo del cableado, con la premisa de que esta pérdida no debe exceder el 5%. Estos cálculos proporcionan información crucial para seleccionar el calibre adecuado de los conductores eléctricos y dimensionar correctamente la tubería de PVC que alojará dichos conductores. Así, se garantiza una alimentación eléctrica confiable y estable para todos los componentes del sistema de riego, asegurando su óptimo desempeño y prolongando su vida útil.

Se realizan cálculos específicos para los elementos más desfavorables del sistema, es decir, aquellos ubicados a la mayor distancia. En este caso, nos referimos a la electroválvula correspondiente al bloque 5 y el último sensor de humedad. La distancia de estos componentes a su fuente de alimentación es de 30 metros.

Primero se calcula la caída de tensión para la electroválvula más desfavorable, se usará un conductor de calibre 12AWG.

$$\text{Máxima caída de tensión permisible} = 24[v] \cdot 0,05 = 1,2[v]$$

De la imagen 28 se obtiene el diámetro del conductor, se calcula el área de la sección transversal, la resistencia del conductor y por último la caída de tensión que no debe ser mayor a 1.2[v] :

$$A = \pi \left(\frac{2,26[mm]}{2} \right)^2 = 4,0115[mm^2]$$

$$R = \frac{(1,72 * 10^{-8}[\Omega \cdot m]) \cdot (30[m])}{4,0115 * 10^{-6}[m^2]} = 0,1286 \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$v_d = (0,3[A]) \cdot \left(0,1286 \left[\frac{\Omega}{m} \right] \right) \cdot (30[m]) = 1,1575[v]$$

La caída de tensión cumple los requerimientos del diseño al ser menor al 5%. Por lo tanto el conductor de calibre 12AWG es adecuado para alimentar de energía eléctrica las electroválvulas.

Ahora se repite el cálculo anterior para el sensor más desfavorable, en este caso, se usará un conductor de calibre 18 AWG, de la imagen 28 se obtiene el diámetro del conductor:

$$\text{Máxima caída detensión permisible} = 5[v] \cdot 0,05 = 0,25[v]$$

$$A = \pi \left(\frac{0,82[mm]}{2} \right)^2 = 0,5281[mm^2]$$

$$R = \frac{(1,72 * 10^{-8}[\Omega \cdot m]) \cdot (30[m])}{0,5281 * 10^{-6}[m^2]} = 0,9771 \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$v_d = (5[mA]) \cdot \left(0,9771 \left[\frac{\Omega}{m} \right] \right) \cdot (30[m]) = 0,1465[v]$$

La caída de tensión cumple los requerimientos del diseño al ser menor al 5%. Por lo tanto el conductor de calibre 14AWG es adecuado para alimentar de energía eléctrica los sensores.

Ahora se determinará el diámetro de la tubería PVC que contendrá los conductores, se tienen 5 electroválvulas, cada una lleva 2 conductores (línea y neutro), para un total de 10 conductores de calibre 12 AWG. Basados en la imagen 30, la tubería PVC de $\frac{1}{2}[inch] = 21[mm]$ podría contener los conductores que alimentarán las electroválvulas.

Por otro lado, se tienen 10 sensores, cada sensor lleva 3 conductores (línea, neutro y señal analoga), para un total de 30 conductores de calibre 18 AWG. Basados en la imagen 30, la tubería PVC de $\frac{1}{2}[inch] = 21[mm]$ podría contener los conductores que alimentarán los sensores.

6.16. Cantidad de materiales y costos

En la tabla 6 se detallan los materiales y costos de la parte eléctrica del sistema de riego

Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Arduino UNO	2	30.000	60.000
Relé De Estado Solido SSR-25	5	40.000	200.000
Electroválvula TORO	5	140.000	700.000
Sensor de humedad SEN0193	10	40.000	400.000
Fuente 24VAC	1	90.000	90.000
Tubería 1 ^{1/4}	40m	4.500	180.000
Conductor THW-LS 12AWG	140m	17.300	2'422.000
Conductor Dúplex SPT 18AWG	400m	12.000	4'800.000
Caja de paso 7E Plexo	1	40.000	40.000
		TOTAL	8'892.000

Tabla 6. Materiales eléctricos sistema de riego.

Considerando los elementos hidráulicos y eléctricos, el costo total estimado para la implementación del sistema de riego automatizado asciende a \$11'382.180 pesos Colombianos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este monto puede variar y estar sujeto a posibles costos adicionales, tales como la mano de obra, la inflación y otros gastos imprevistos. Estos factores deben ser considerados cuidadosamente en la planificación del proyecto para garantizar una evaluación precisa de los recursos necesarios y evitar sorpresas financieras durante su ejecución.

7. DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

7.1. Caracterización de la carga

En el proceso inicial de dimensionamiento para un sistema solar fotovoltaico, se lleva a cabo un análisis de los electrodomésticos y dispositivos eléctricos que serán utilizados, con el objetivo de definir la cantidad de elementos y el tiempo de uso en horas. Este análisis proporciona una base fundamental para determinar la carga eléctrica total del sistema, lo que permite diseñar una solución adecuada y eficiente que satisfaga las necesidades energéticas de la huerta de manera óptima. En la Tabla 7 se detallan los electrodomésticos que disponen la huerta y su consumo.

Caracterización de la carga					
Descripción	Cantidad	Potencia [w]	Potencia total [w]	Horas/día	Energía [Wh/día]
Luminarias	8	18	144	8	1152
Refrigerador	1	75	75	12	900
Televisor	1	45	45	3	135
Bafle	1	80	80	3	240
Ventilador	1	50	50	3	150
Licuada	1	500	500	0,5	250
Electroválvulas	5	7,2	36	24	864
Arduino	1	0,5	0,5	24	12
Fuente 24vac	1	120	120	24	2880
sensores	10	0,025	0,25	24	6
Potencia Máxima demandada [W]				1050,75	
Energía máxima demanda por día [Wh]				6589	

Tabla 7. Caracterización de la carga.

7.2. Ángulo óptimo de inclinación y horas sol pico

Ahora se realiza el cálculo del ángulo óptimo de inclinación, con el software “Google earth” se obtienen las coordenadas de la huerta y luego se hace uso de la ecuación (14) proporcionada por Sean White en su libro "Conceptos básicos de la energía solar fotovoltaica"

$$Latitud = 6,2977^\circ$$

$$Longitud = -75,5369^\circ$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 |\varphi| = 3,7 + 0,69 |6,2977^\circ| = 8,0449^\circ$$

Conociendo el ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares, se hace uso del software “PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)” de la unión

Europea, el cual utiliza información geográfica detallada para estimar la radiación solar, la producción de energía y otros parámetros clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos. Se toma un histórico de datos de radiación desde 2005 hasta 2015 y promediando estos datos se obtienen las horas sol pico por año, en la Tabla 8 se observa el promedio de radiación en cada mes.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	143.43	144.77	136.70	144.27	144.47	182.20	169.73	151.92	164.73	159.35	168.40
Febrero	136.58	147.94	178.47	141.86	118.23	133.35	147.46	182.91	133.96	131.58	148.91
Marzo	163.68	149.00	130.26	132.07	133.78	159.20	164.17	152.77	159.44	172.41	158.92
Abril	151.53	136.31	129.43	139.45	137.74	143.55	143.03	136.93	157.80	164.15	149.83
Mayo	150.33	144.74	143.48	134.81	154.38	159.78	148.99	162.79	150.57	157.12	170.12
Junio	145.49	150.03	159.84	148.31	134.39	142.82	151.46	168.46	166.58	168.51	169.07
Julio	174.06	172.65	173.78	153.99	171.08	143.48	166.41	174.73	180.52	181.87	173.34
Agosto	162.16	177.45	152.75	151.28	169.34	160.09	179.20	165.70	172.73	185.57	183.79
Septiembre	168.68	175.70	165.15	150.32	173.42	138.53	168.88	113.75	156.95	175.33	179.01
Octubre	150.98	153.27	136.97	152.05	149.56	162.57	149.58	161.87	166.87	141.64	155.28
Noviembre	157.98	129.79	137.36	123.12	131.77	142.25	138.08	155.34	163.70	157.67	148.65
Diciembre	150.28	145.50	142.31	166.32	148.67	152.52	141.83	162.58	152.85	168.21	173.86
Promedio anual	154.60	152.26	148.88	144.82	147.24	151.70	155.74	157.48	160.56	163.62	164.93
Horas sol pico año	5.07	4.99	4.88	4.75	4.83	4.97	5.11	5.16	5.26	5.36	5.41

Tabla 8. Radiación promedio.

Finalmente, se realiza un cálculo promedio de las horas sol pico anual, obteniendo un valor de 5,07 horas sol pico (HSP). Este dato resulta crucial para el siguiente paso del proceso, que consiste en dimensionar la potencia de los módulos solares para asegurar que la energía generada pueda satisfacer la demanda de la carga. El promedio se determinó en base al ángulo óptimo de inclinación ($\beta_{opt} = 8,0449^\circ$); sin embargo, dado que los módulos no siempre pueden ajustarse a este ángulo, se consideró también una inclinación común de 15 grados. El resultado obtenido fue muy similar al anterior, lo que refuerza la validez del valor promedio de $HSP = 5,07$ como representación adecuada de la disponibilidad de radiación solar para el sistema.

7.3. Potencia del generador

Con la ecuación 15, se calcula la potencia que deben generar el arreglo de paneles solares:

$$P_G = \frac{E[Wh] \cdot F_s}{\eta_{sis} \cdot HSP} = \frac{6589[Wh] \cdot 1,2}{0,75 \cdot 5,07} = 2079,37[W] = 2.07[kW]$$

Para generar dicha potencia se propone un arreglo mixto de paneles solares mono cristalinos de la marca *JA solar*, con referencia “*JAM72S30*” este módulo tiene una potencia nominal de 550[Wp]; este arreglo mixto constará de dos paneles en serie y dos paneles en paralelo. A continuación, en la Imagen 31, se muestra la ficha técnica de los paneles.

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	530	535	540	545	550	555
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90	50.02
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96	42.11
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.72	13,79	13.86	13,93	14,00	14,07
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.83	12,90	12,97	13,04	13,11	13,18
Module Efficiency [%]	20,5	20,7	20,9	21,1	21,3	21,5
Power Tolerance				0~+5W		
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})				+0.045%/°C		
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})				-0.275%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})				-0,350%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Imagen 31. Ficha técnica módulo *JAM72S30* [75].

7.4. Cálculo del acumulador

Con la ecuación 16, se calcula la capacidad del banco de baterías:

$$CB[Ah] = \frac{E[Wh] \cdot D_A}{V_{sist} \cdot P_D} = \frac{6589[Wh] \cdot 1}{24[v] \cdot 0,5} = 549[Ah]$$

Se propone un arreglo serie-paralelo con cuatro baterías de la marca *TENSITE*, este arreglo de baterías define la tensión del sistema $V_{sist} = 24[V]$ y también la capacidad del banco de baterías $CB[Ah] = 600[Ah]$; En la Imagen 32, se muestra la ficha técnica de la batería con referencia “Gel 12-300”

MODELO DE BATERÍA	Voltaje nominal		12V	
	Capacidad nominal (100 Tasa Hora)		300Ah	
DIMENSIONES	Células por batería		6	
	Longitud	Ancho	Altura	Altura total
PESO APROXIMADO	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACIDAD @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
CORRIENTE DE DESCARGA MÁX	10 C (25.0A)	5 C (43.7A)	3 C (66.2A)	1 C (161.5A)
	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
RESISTENCIA INTERNA	2000 A (5 seg.)			
CAPACIDAD AFECTADA POR LA TEMPERATURA(10 HR)	Cargado por completo Vat 25°C: Aprox. 2.0mΩ			
MÉTODO DE CARGA @25°C	Ciclo de uso		Modo de espera	
	14.1-14.4V (Corriente de carga inicial inferior a 27A)		13.50-13.80V	

Imagen 32. Ficha técnica batería gel 12-300 [76].

7.5. Cálculo del regulador de carga

Con la ecuación 17 y 18, se calcula la corriente y tensión máxima permisible por regulador:

$$Reg_v = \#M_s \cdot V_{oc} = 2 \cdot 49,9[V] = 99,8[V]$$

$$Reg_I = \#M_p \cdot I_{sc} \cdot F_s = 2 \cdot 14[A] \cdot 1,2 = 33,6[A]$$

Teniendo en cuenta la corriente y tensión máxima permisibles se selecciona el regulador de la marca Growatt con referencia “SC4880”; En la Imagen 33, se muestra su ficha técnica en la que se puede verificar que la tensión, la corriente y la potencia cumplen con las necesidades de nuestro sistema.

Datasheet	SC 4860	SC 4880	SC 48100	SC 48120
Compatible Battery Nominal Voltage	12V/24V/48V			
ELECTRICAL				
PV Operating Voltage	18~50Vdc@12V 34~100Vdc@24V 60~145Vdc@48V			
Max.PV Open Circuit Voltage	150Vdc			
Max. Recommended PV Power	1 000W@12V 2 000W@24V 4 000W@48V	1 250W@12V 2 500W@24V 5 000W@48V	1 500W@12V 3 000W@24V 6 000W@48V	1 750W@12V 3 500W@24V 7 000W@48V
Max.Charging Current	60A	80A	100A	120A
Self Consumption	2W			
MPPT Efficiency	99.5%			
Max.Efficiency	97.5%			
Protection	Overload,high voltage, high temperature protection			

Imagen 33. Ficha técnica regulador de carga Growatt [77].

7.6. Cálculo del inversor

Con la ecuación 19, se calcula la potencia del inversor:

$$\text{Potencia del inversor} \geq \text{potencia máxima demandada} \cdot \text{factor de simultaneidad}$$

$$\text{Potencia del inversor} \geq 1050,75 \cdot 0,8$$

$$\text{Potencia del inversor} \geq 840,64[W]$$

Teniendo en cuenta que la potencia del inversor debe ser mayor a 840,64[W] se selecciona un inversor de la marca *VICTRON* con referencia “*Phoenix 24v-1200va*”. En la Imagen 34, se muestra su ficha técnica en la que se puede verificar que la tensión, la corriente, la frecuencia y la potencia cumplen con las necesidades de nuestro sistema.

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)	250VA		375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C	200 / 175W		300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia	400W		700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)	230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%					
Rango de tensión de entrada	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V					
Desconexión por CC baja (ajustable)	9,3 / 18,6 / 37,2V					
Dinámica (dependiente de la carga)	Desconexión dinámica, ver					
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)	https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff					
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)	10,9 / 21,8 / 43,6V					
Detector de batería cargada (ajustable)	14,0 / 28,0 / 56,0V					
Eficacia máx.	87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%	
Consumo en vacío	4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W	
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reinicio: 2,5 s, ajustable)	0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0	
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO	Ajustable					
Protección (2)	a - f					
Rango de temperatura de trabajo	-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)					
Humedad (sin condensación)	máx. 95%					

Imagen 34. ficha técnica inversor Phoenix [78].

7.7. Cálculo de los conductores

7.7.1. Conductores CENTELSA para instalaciones solares fotovoltaicas

Los conductores CENTELSA para aplicaciones solares tipo PV XLPE 600V son cables especialmente diseñados para su uso en sistemas solares fotovoltaicos. Están fabricados con materiales de alta calidad y cuentan con aislamiento XLPE (polietileno reticulado) que les proporciona una excelente resistencia al calor, la humedad y la intemperie. Estos conductores están diseñados para soportar las condiciones ambientales adversas típicas de las instalaciones solares al aire libre, garantizando una transmisión segura y eficiente de la energía generada por los paneles solares hacia los diferentes componentes del sistema. En la Imagen 35 se muestra su ficha técnica.

CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO TIPO PV XLPE 600V 90°C SR					
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado
AWG/kcmil	mm ²		mm	mm	Kg/Km
14	2,08	7	1,52	5,2	28
12	3,31	7	1,52	5,6	41
10	5,26	7	1,52	6,2	61
8	8,37	7	1,91	7,8	99
6	13,30	7	1,91	8,7	148
4	21,15	7	1,91	9,9	225
2	33,62	7	1,91	11,4	347
1	42,41	19	2,41	13,7	490
1/0	53,48	19	2,41	14,7	542
2/0	67,43	19	2,41	15,8	675
3/0	85,01	19	2,41	17,1	920
4/0	107,2	19	2,41	18,5	1052
250	126,7	37	2,79	20,5	1252
300	152,0	37	2,79	21,9	1491
350	177,3	37	2,79	23,1	1730
400	202,7	37	2,79	24,3	2090
500	253,4	37	2,79	26,4	2443
600	304,0	61	3,18	29,2	2939
750	380,0	61	3,18	31,8	3649
1000	506,7	61	3,18	35,6	4830

Imagen 35. Ficha técnica inversor Phoenix [79].

7.7.2. Cálculo del conductor desde el módulo fotovoltaico hasta el banco de baterías

Con la ecuación 20, se calcula el área mínima de la sección transversal del conductor, teniendo en cuenta que la distancia entre el modulo y el banco de baterías es de 3,5[m]:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot Reg_I}{\% \Delta V \cdot V_{sist}} = \frac{2 \cdot 0,0277 \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right] \cdot 3,5[m] \cdot 28[A]}{0,015 \cdot 99,8[v]} = 3,6267$$

Se propone un conductor de calibre 12 AWG de la marca Centelsa tipo PV XLPE 600V, este fabricante ofrece conductores especiales para corriente continua y sistemas solares fotovoltaicos. Se recomienda el uso de estos conductores especiales.

7.7.3. Cálculo del conductor entre el banco de baterías y el inversor

Con la ecuación 21, se calcula la corriente máxima permisible para el conductor entre el banco de baterías y el inversor, con base en esto se selecciona un conductor que pueda soportar dicha corriente.

$$I = \frac{P_{inv}}{V_{sist} \cdot \eta_{inv}} = \frac{1200[W]}{24[V] \cdot 0,91} = 54,945[A]$$

Se propone un conductor de calibre 6 AWG de la marca Centelsa tipo PV XLPE 600V, cuya capacidad de corriente es de 65[A]; este fabricante ofrece conductores especiales para corriente continua y sistemas solares fotovoltaicos. Se recomienda el uso de estos conductores especiales.

Con la ecuación 22, se calcula la corriente máxima permisible para el conductor entre el inversor y la carga, con base en esto se selecciona un conductor que pueda soportar dicha corriente.

$$I_{max} = \frac{P_{inv}}{V_{AC} \cdot PF} = \frac{1200[W]}{120[V] \cdot 0,8} = 12,5[A]$$

Se propone un conductor de calibre 12 AWG de la marca Centelsa tipo PV XLPE 600V, cuya capacidad de corriente es de 25[A]; este fabricante ofrece conductores especiales para corriente continua y sistemas solares fotovoltaicos. Se recomienda el uso de estos conductores especiales.

7.8. Diagrama unifilar y cálculo de protecciones

En la Imagen 35 se observa el diagrama unifilar, que muestra la disposición y conexión de todos los componentes eléctricos del sistema como paneles solares, inversores, baterías, dispositivos de protección, interruptores, conductores y puntos de conexión.

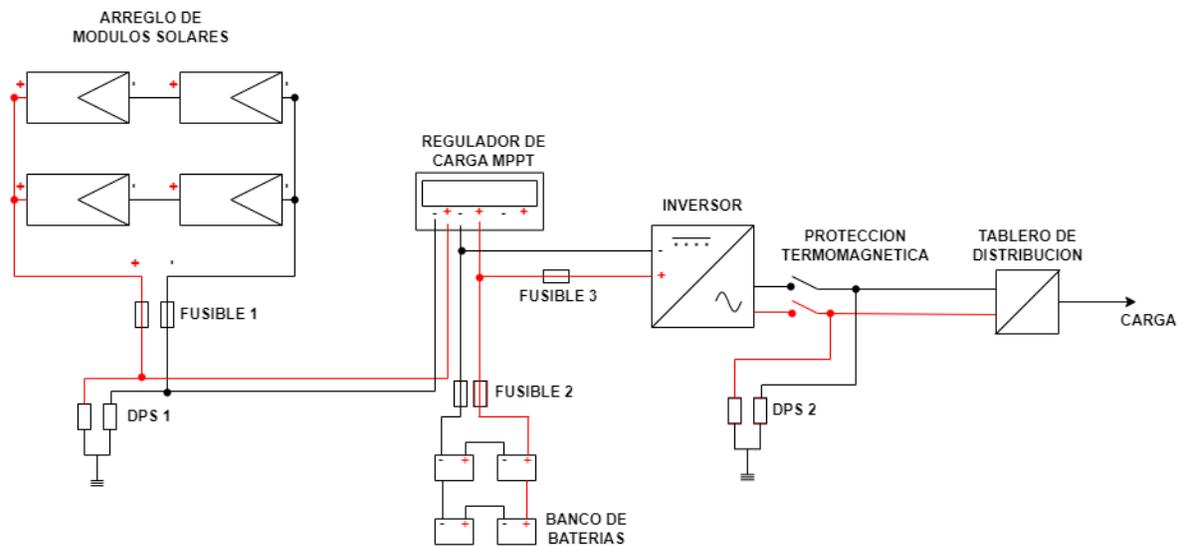


Imagen 35. Diagrama unifilar sistema fotovoltaico.

Para determinar las protecciones eléctricas se debe calcular la corriente máxima que puede fluir en cada parte del sistema. A partir de estos cálculos, se selecciona dispositivos de protección adecuados para garantizar la seguridad de la instalación como fusibles, disyuntores u otros dispositivos de protección que interrumpan el flujo de corriente en caso

de una situación de riesgo, protegiendo así los componentes del sistema y evitando daños o accidentes eléctricos. A continuación se determinaran las protecciones eléctricas del sistema solar fotovoltaico:

$$FUSIBLE\ 1 = Corriente\ maxima\ paneles \cdot f_s = 28[A] \cdot 1,25 = 35[A]$$

Se propone como protección un fusible de 40[A] de corriente continua marca *SIMON*, aunque otro fusible de otra marca con la misma capacidad de corriente también cumpliría la misma función.

$$FUSIBLE\ 2 = \frac{Potencia\ maxima\ paneles}{V_{sistema} \cdot f_s} = \frac{2200[W]}{24[V] \cdot 1,25} = 73,333[A]$$

Se propone como protección un fusible de 80[A] de corriente continua marca *SIEMENS*, aunque otro fusible de otra marca con la misma capacidad de corriente cumpliría la misma función.

$$FUSIBLE\ 3 = \frac{Potencia\ del\ inversor \cdot f_s}{V_{sistema}} = \frac{1200[W] \cdot 1,25}{24[V]} = 62,5[A]$$

Se propone como protección un fusible de 70[A] de corriente continua de la marca *SIEMENS*, aunque otro fusible de otra marca con la misma capacidad de corriente cumpliría la misma función.

$$TERMOMAGNETICA = \frac{Potencia\ del\ inversor \cdot f_s}{V_{sistema}} = \frac{1200[W] \cdot 1,25}{120[V]} = 12,5[A]$$

Se propone como protección termomagnética de 14[A] de la marca *LUMEK*, aunque otra protección termomagnética de otra marca con la misma capacidad de corriente cumpliría la misma función.

Por último La corriente de descarga máxima en sistemas solares fotovoltaicos *off-grid* residenciales suele estar en el rango de 10 [kA] a 20 [kA]. El DPS debe soportar dicha corriente. El DPS “*ECOZOP-012*” de la marca *Clamber* puede soportar esta corriente.

7.9. Cantidad de materiales y costos

En la Tabla 9 se detallan los materiales, la cantidad y su costo para la instalación del sistema solar fotovoltaico en la huerta:

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Total
Panel solar	4	\$701,425	\$2,805,700
Regulador	1	\$1,340,658	\$1,340,658
Batería	4	\$1,134,658	\$4,538,632
Inversor	1	\$2,620,028	\$2,620,028
Estructura	4	\$144,411	\$577,644
Accesorios	1	\$300,000	\$300,000
Conductor 6 AWG	12 [m]	\$4,193	\$50,316
Conductor 12 AWG	18 [m]	\$4,886	\$87,948
Fusible 40 [A]	2	\$15,351	\$30,702
Fusible 70 [A]	2	\$20,589	\$41,178
Fusible 80 [A]	1	\$22,645	\$22,645
Disyuntor 15 [A]	1	\$77,000	77000
DPS [20kA]	2	\$94,000	94000
		TOTAL	\$12,586,451

Tabla 9. Materiales eléctricos sistema solar

Es importante tener en cuenta que este monto puede variar y estar sujeto a posibles costos adicionales, tales como la mano de obra, la inflación y otros gastos imprevistos. Estos factores deben ser considerados cuidadosamente en la planificación del proyecto para garantizar una evaluación precisa de los recursos necesarios y evitar sorpresas financieras durante su ejecución.

8. ANÁLISIS DE RIESGO ELÉCTRICO

Se llevó a cabo un análisis de riesgo eléctrico en la huerta, haciendo uso de la matriz de riesgos proporcionada por el RETIE como guía (Imagen 5). Durante este proceso, se identificaron varios riesgos eléctricos potenciales que podrían afectar la seguridad de las personas y las instalaciones. Estos riesgos serán clasificados según los criterios establecidos en la matriz de riesgos del RETIE, y se propondrán recomendaciones específicas para su mitigación.

8.1. Tablero de distribución

El RETIE establece que el tablero de distribución en una instalación residencial debe cumplir con ciertos requisitos para garantizar la seguridad eléctrica. Estos incluyen la correcta identificación de los circuitos, la instalación de dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos, así como la disposición adecuada de los conductores y dispositivos de conexión, el tablero debe estar ubicado en un lugar accesible, protegido contra la humedad y los agentes externos que puedan afectar su funcionamiento.

- **Observaciones:** El tablero de distribución no cuenta con la correcta identificación de los circuitos y ausencia de su tapa protectora.
- **Riesgo encontrado:** La falta de identificación dificulta la localización y el mantenimiento de los circuitos específicos.

La ausencia de su tapa protectora expone los componentes internos del tablero a diversos riesgos, incluyendo la posibilidad de contacto accidental con partes energizadas, la acumulación de polvo y suciedad, así como la interferencia de agentes externos que podrían comprometer su funcionamiento seguro y eficiente.

- **Diagnóstico:** De acuerdo a la matriz el riesgo es MEDIO.
- **Recomendaciones:** Se recomienda etiquetar los circuitos y cambiar la caja del tablero de distribución por una nueva.

8.2. Circuitos ramales

Según el RETIE, la cantidad mínima de circuitos ramales en instalaciones eléctricas residenciales es de cuatro circuitos. Estos circuitos se distribuyen de la siguiente manera: uno para la iluminación, uno para los tomacorrientes de uso general, uno para tomacorrientes de uso específico (como electrodomésticos de alto consumo) y uno para circuitos especiales (como sistemas de calefacción, aire acondicionado, entre otros).

- **Observaciones:** Solo se cuenta con un circuito ramal para toda la huerta.
- **Riesgo encontrado:** Tener solo un circuito ramal puede aumentar el riesgo de sobrecarga, sobrecalentamiento y limitar la funcionalidad y seguridad de la instalación eléctrica residencial.
- **Diagnóstico:** De acuerdo a la matriz el riesgo es MEDIO.

- **Recomendaciones:** Evaluar la posibilidad de ampliar la instalación eléctrica en el futuro, agregando más circuitos ramales para mejorar la capacidad de distribución de carga.

8.3. Conductores

El RETIE establece normativas para garantizar la seguridad y eficiencia en la selección de conductores eléctricos en instalaciones residenciales. Esto incluye la definición de criterios para la selección adecuada de conductores, considerando la sección transversal, material y capacidad de corriente, así como la especificación de los requisitos para realizar empalmes de conductores.

- **Observaciones:** Los conductores que alimentan las luminarias de la parte exterior de la huerta tienen empalmes inadecuados.
- **Riesgo encontrado:** Los empalmes inadecuados pueden aumentar la resistencia eléctrica, lo que genera una pérdida de energía y un riesgo de sobrecalentamiento en el punto de unión, se corre el riesgo de que se produzcan problemas como cortocircuitos, sobrecalentamiento de los cables, interrupción del suministro eléctrico, y en casos extremos, incendios.
- **Diagnóstico:** De acuerdo a la matriz el riesgo es ALTO.
- **Recomendaciones:** Se recomienda la instalación de un circuito ramal nuevo para las luminarias del exterior, también el cambio de sus conductores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Ochoa, “*Diseño de estructura y subestructura para la construcción de invernadero de dos huertas comunitarias en la comuna 1 de Medellín*” [Informe de práctica]. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, 2020.
- [2] G. B. Cáceres, A. Ferramosca, P. M. Gata and M. P. Martín, "Model Predictive Control Structures for Periodic ON–OFF Irrigation," in *IEEE Access*, vol. 11, 2023, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3277618>
- [3] J.P. Venot, M. Kuper, and M. Zwarteveen, "Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development (1st ed)." [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4324/9781315537146>
- [4] C.R. Camp, E.J. Sadler, W.J. Busscher, R.E. Sojka and D.L. Karlen, "Experiences with microirrigation for agronomic crops in the southeastern USA." pp. 638-644. In: Proc. Of the Fifth International Microirrigation Congress. USA-FL-Orlando, 1995, [En línea]. Disponible en: <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/1075/1/884.pdf>
- [5] L.A. Gurovich, "Fundamentos y diseño de sistemas de riego" Instituto interamericano de cooperación para la agricultura." San José, Costa Rica, 1985, ISBN 92-9039-064-6
- [6] Robert L. Mott "Mecánica de fluidos. Sexta edición" Pearson Educación, México, 2006. ISBN: 970-26-0805-8
- [7] J.C. Alocén, "Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego" Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. PESA-Honduras, Octubre 2007, [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- [8] A. Blaz Lazo "Calculo del diámetro de una tubería que trabaja a presión" Faneci, Abril, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.faneci.com/calculo-del-diametro-de-una-tuberia-que-trabaja-a-presion/>
- [9] C.F. Colebrook, and C.M. White, "Experiments with Fluid Friction in Roughened Pipes". Proceedings of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1937, [En línea]. Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:136598986>

[10] R.Ortiz, M.Chile Asimbaya, and G. Ortiz "*Factor de fricción para tuberías de pvc y pe para riego*" The Journal of engineering research, vol. 2, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22533/at.ed.3172182219088>

[11] R. Erdogan, Z. Saglam, and G. Cetintav, "*Examination of the usability of Tinkercad application in educational robotics teaching by eye tracking technique.*" Smart Learn. Environ. 10, 2023, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00242-0>

[12] R.Abburi, M. Praveea, and R. Priyakanth, "*TinkerCad - A Web Based Application for Virtual Labs to help Learners Think, Create and Make*" Journal of Engineering Education Transformations, Volume 34, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://10.16920/jeet/2021/v34i0/157209>

[13] MCI electronics "*Arduino UNO*" [En línea]. Disponible en: <https://arduino.cl/arduino-uno/>

[14] S. Adla, N.K. Rai, S.H. Karumanchi, S. Tripathi, M. Disse, and S.Pande, "*Laboratory Calibration and Performance Evaluation of Low-Cost Capacitive and Very Low-Cost Resistive Soil Moisture Sensors*" Sensors, MPDI, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://doi:10.3390/s20020363>

[15] H.R.Bogena, J.A.Huisman, B.Schilling, A.Weuthen, and H.Vereecken, "*Effective Calibration of Low-Cost Soil Water Content Sensors*" Institute of Bio- and Geosciences, Agrosphere Institute, Jülich, Germany; Sensors, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s17010208>

[16] M.P. Carlos, S. Jones, M. Meding, and M. Tuller "*Evaluation of Standard Calibration Functions for Eight Electromagnetic Soil Moisture Sensors*" Vadose Zone Journal, Soil Water Sensors and Measurement Technologies, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/vzj2012.0160>

[17] C.H. Brillantino, G.Faradiba, F.Adriyanto, and O.Listiyanto, "*Study Analysis of Voltage Drop in a Typical Office Building Lighting System: A Case Study of FEM IPB Building Electrical Installation*" Journal of electrical electronic information and communication Technology, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://doi:10.20961/jeeict.v1i1.34510>

[18] I.W. Dikse, R.M. Silitonga, and I.M. Asna, "*Perencanaan Instalasi Listrik di Hotel dan Villa Maua Nusa Penida.*" Journal Ilmiah Telsinas, 2022; [En línea]. Disponible en: <https://doi:10.38043/telsinas.v5i1.3664>

[19] Brian Scaddan, "*Electrical Installation Work*" Published by Elsevier Ltd; ISBN: 978-0-7506-8733-1

[20] Cables Miguelez "*Caida de tensión*" Anexos técnicos, España, 2022.

[21] C.K.Alexander; M.O.Sadiku "*Fundamentos de circuitos eléctricos*" Mc Graw Hill interamericana, ISBN 0-07-326800-3

[22] J.C Pérez Álvarez, "*Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la resolución CREG 030 de 2018 para inyectar excedentes de energía a la red*", Informe de práctica]. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, 2019. [En línea] Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15377/1/PerezJuan_2019_GuiaDimensionamientoSistemas.pdf

[23] D.A Garzón, J.S. Martínez, "*Estudio de factibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica en la zona preescolar del colegio Agustiniiano Suba*", [Trabajo de grado]. Universidad distrital Francisco José de Caldas, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6212/Garz?sequence=1>

[24] Hussein Al-Taai, Sameer Araasi, "*Solar Irradiance Measurements Using Smart Devices: A Cost-Effective Technique for Estimation of Solar Irradiance for Sustainable Energy Systems*" MDPI, sustainability, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su10020508>

[25] Xianglong Li, Longfei Ma, Ping Chen, Hui Xu, Qijing Xing, Jiahui Yan, Siyue Lu, Haohao Fan, Lei Yang, Yongqiang Cheng, "*Probabilistic solar irradiance forecasting based on XGBoost*" International Conference on Power Engineering, Guangxi, China, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.251>

[26] J. Antonanzas, N. Osorio, R. Escobar, R. Urraca, F.J. Martinez, F. Antonanzas, "*Review of photovoltaic power forecasting*" Solar Energy Volume 136, Pages 78-111, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.069>

[27] M.A. Syahbani, I.H. Sukmawan, S.D. Perkasa, P. Vigneshwaran, "*Effect of peak sun hour on energy productivity of solar photovoltaic power system*" Bulletin of Electrical Engineering and Informatics Vol. 11, No. 5, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://10.11591/eei.v11i5.3962>

[28] Kokouvi Edem N'Tsoukpoe, "*Effect of orientation and tilt angles of solar collectors on their performance: Analysis of the relevance of general recommendations in the West*

and Central African" Scientific African, Volume 15, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01069>.

[29] S. White, "*Solar Photovoltaic Basics: A Study Guide for the NABCEP Entry Level Exam*" Routledge, 2015. ISBN: 978-0415713351

[30] Sandile Phillip Koko, "*Optimal battery sizing for a grid-tied solar photovoltaic system supplying a residential load: A case study under South African solar irradiance*" International Conference on Power Engineering (ICPE 2021), 2021, Guangxi, China, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.183>

[31] A. Kaabeche, M. Belhamel y R. Ibtouen, "*Optimal sizing method for stand-alone hybrid PV/wind power generation system*" Revue des Energies Renouvelables (SMEE'10) Bou Ismail Tipaza, [En línea]. Disponible en: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/6169/pdf>

[32] Seleman A. Mayanjo, Jackson J. Justo, "*Development of Solar PV Systems for Mini-Grid Applications in Tanzania*" Tanzania Journal of Engineering and Technology, 2023, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.52339/tjet.v42i1.899>

[33] L.A. Bedadi, M.G. GebreMichael, "*Design and optimization of off-grid hybrid renewable power plant with storage system for rural area in Rwanda*" Institution of engineering and technology, Renewable Power Generation, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12267>

[34] W. Waag, D.U. Sauer, Jürgen Garche, "*Secondary batteries – lead– acid systems / State-of-Charge/Health*", Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, 2009, Pages 793-804, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00149-0>.

[35] H. Awad, G.A. Goboz, N. Harb, S. Shurrab, "*Case study design of a stand-alone photovoltaic power system in gaza-strip and generalizing a program simulation*" ITM Web of Conferences 43, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20224301022>

[36] Pablo Díaz, Eduardo Lorenzo, "*Solar Home System Battery and Charge Regulator Testing*" John Wiley & Sons, Ltd., Instituto de Energía Solar y Telecomunicaciones, Ciudad Universitaria, Madrid, España, 2001, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pip.387>

[37] R. Ortega, V.H. García, A.L. García, J.J. Rodríguez, V. Vásquez, J.C. Sosa, "*Modeling and Application of Controllers for a Photovoltaic Inverter for Operation in a Microgrid*" MDPI, sustainability, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13095115>

[38] National electrical code handbook, twelfth edition international electrical code series. Article69, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://mopw.gov.gy/sites/default/files/documents/NEC%202011.pdf>

[39] P. Díaz Villar, M.A. Egido Aguilera, "*Confiabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos autónomos: Aplicación a laelectrificación rural*" [Tesis Doctoral]. Madrid (España):Universidad politecnica de Madrid, 2003; [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/169/1/PABLO_DIAZ_VILLAR.pdf

[40] Alba solar "*Elementos de protección de la instalación fotovoltaica*" [En línea]. Disponible en: <https://albasolar.es/elementos-de-proteccion-de-la-instalacion-fotovoltaica/>

[41] IEC 61643-11: Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods [Norma Internacional]. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2011.

[42] IEC 61643-31, Low-voltage surge protective devices – Part 31: Requirements and test methods for SPDs for photovoltaic installations, [Norma Internacional]. 4th ed. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2017.

[42] IEC 62305-1, Protection against lightning, [Norma Internacional]. 4th ed. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2017.

[44] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIIE) "*Análisis de riesgos de origen eléctrico*", p. 42-48, 2013.

[45] J.L Patiño Vélez, J.Gallo Galarza, "*Implementación de seguridad de equipos eléctricos en la industria*" Escuela Superior Pólitecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/f9kjq>

[46] J. E. Casallas Suarez, F. F. Gámez Gómez, "*Análisis y mitigación del riesgo eléctrico en un predio construido antes de la entrada en vigor del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIIE)*", 2021, [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/617

[47] Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC) "NTC 4120: Efectos de la corriente sobre los seres humanos y los animales domésticos. Parte 1: Aspectos generales", 1997.

[48] International Electrotechnical Commission "IEC 60479-2: Effects of current on human beings and livestock - Part 2: Special aspects", 2019.

[49] Claudio Galmarini "*Cátedra de Horticultura y Floricultura*" Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/8fanh>

[50] Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación "*Requerimientos agroecológicos de los cultivos 2da edición*" Tepatitlán de Morelos, Jalisco, Noviembre, 2013, ISBN: 978-607-37-0188-4.

[51] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). ECOCROP 1. "*The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*" Roma, Italia.

[52] Plaxco "*Ficha-tecnica-manguera-cristal*" [En línea]. Disponible en: <https://plaxco.com.co/>

[53] Toro Micro-Irrigation "*NGESF gotero autocompensado con función de auto-lavado*" [En línea]. Disponible en: <https://toro.com/>

[54] Netafim "*PCJ Dripper compact on-line pressure-compensating, continuously self-cleaning dripper*" [En línea]. Disponible en: <https://netafim.com/>

[55] Colempaques "*Tanque de Agua Cilíndrico 20000 Litros*" [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ojt4bf>

[56] RV Guard "*Valvula Reguladora De Presion De Agua Rv Reductor*" [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/f30nih>

[57] Toro Micro-Irrigation "*Válvulas de plástico series 254/264*" [En línea]. Disponible en: <https://www.toro.com/es-es/product/254-264-Series>

[58] R.Jorge López; A. Morell Perez "*Arduino. Sensorización y domotización de sistema de riego*" Universidad Oberta de catalunya, 2018.

[59] Suconel. Tienda electrónica Colombia "*sensor-de-humedad-de-suelo-senh*" [En línea]. Disponible en: <https://suconel.com/product-tag/yl-69/>

[60] Mehwish Mirza; Tanweer Hussain "*Control and Analysis of Drip irrigation system*" International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2018, [En línea]. Disponible en:<http://doi.org/10.22214/ijraset.2018.4826>

[61] N.A.Leiva Buchi "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de humedad de suelo low-cost" Universidad de Chile, Facultad de ciencias agrónomas, Santiago de Chile 2015.

[62] Vegetronix. "*Sensor de humedad VH400*" [En línea]. Disponible en: <https://vegetronix.com>

[63] I.Mihaly, A.Bede-Fazekas, A.Beslin, Z.Giczi, G.Milics, B.Kovacs, M.Kovacs, B.Ambrus, L.Bede, V.Vona "*Calibration of an Arduino-based low-cost capacitive soil moisture sensor for smart agriculture*" Journal of hydrology and hydromechanics, published by Sciendo, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/johh-2022-0014>

[64] N.S. Abu, W.M. Bukhari, M.A. Firdaus, N.M. Sukri "*Smart Indoor Plantation System Using Soil Moisture Sensor and Light Dependent Resistor Sensor*" International Journal of Robotics and Control Systems, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v2i4.845>

[65] Vistronica, tienda virtual de electrónica "*Sensor De Humedad de suelo Capacitivo Analógico DFROBOT SEN0193*" [En línea]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/sensores/humedad/>

[66] DFRobot, "*Gravity: Analog Capacitive Soil Moisture Sensor- Corrosion Resistant*" [En línea]. Disponible en: <https://www.dfrobot.com/product-1385.html>

[67] Oscar F.Lopez "*Calibracion de Sensor de Humedad Tipo Capacitivo, Metodo Gravimétrico*" Universidad Santo Tomas, Tunja, Boyaca; [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.20906/cps/cba2018-1304>.

[68] E.A.A. Dilrukshi Nagahage, Isura Sumeda Priyadarshana Nagahage, Takeshi Fujino "*Calibration and Validation of a Low-Cost Capacitive Moisture Sensor to Integrate the Automated Soil Moisture Monitoring System*" Agriculture, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agriculture9070141>

[69] Fotek, proveedor de soluciones electronicas "*Rele De Estado Solido Ssr-25 Da 25a 24-380vac Fotek Arduino*" [En línea]. Disponible en: <https://www.fotek.com.tw/en-gb/>

[70] Cables de energia y telecomunicaciones CENTELSA "*Cables para baja tensión*" [En línea]. Disponible en: <https://www.centelsa.com/archivos/21620235.pdf>

[71] Cables de energia y telecomunicaciones CENTELSA "*Cables duplex SPT RoHS construcción*" [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vb1dw>

[72] Cables de energia y telecomunicaciones CENTELSA "*Recomendaciones de instalacion cables subterranos*" [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/4980u>

[73] Cables de energia y telecomunicaciones CENTELSA "*Cables y tecnologia,boletín técnico*" Enero, 2022 , [En línea]. Disponible en: <https://centelsa.com/boletines-centelsa/>

[74] Homecenter "*Caja Cuadrada 7E Presión Plexo*" [En línea]. Disponible en:<https://n9.cl/mnma4>

[75] Autosolar Energy Solutions S.L.U."Ficha tecnica JAM72S30 530-555 MR 30" [En línea]. Disponible en:<https://cdn.autosolar.es/pdf/datasheet-jasolar-545w.pdf>

[76] Autosolar Energy Solutions S.L.U."Ficha tecnica gel 12-300" [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ks91j>

[77] Autosolar Energy Solutions S.L.U." Growatt SC4860-48120 " [En línea]. Disponible en: <https://cdn.autosolar.es/pdf/fichas-tecnicas/Ficha-Tecnica-Bateria-AGM-12V-300Ah-CCDR-G-Tensite.pdf>

[78] Autosolar Energy Solutions S.L.U." Growatt SC4860-48120 " [En línea]. Disponible en: <https://cdn.autosolar.es/pdf/Ficha-Victron-Phoenix-VE-250VA-1200VA.pdf>

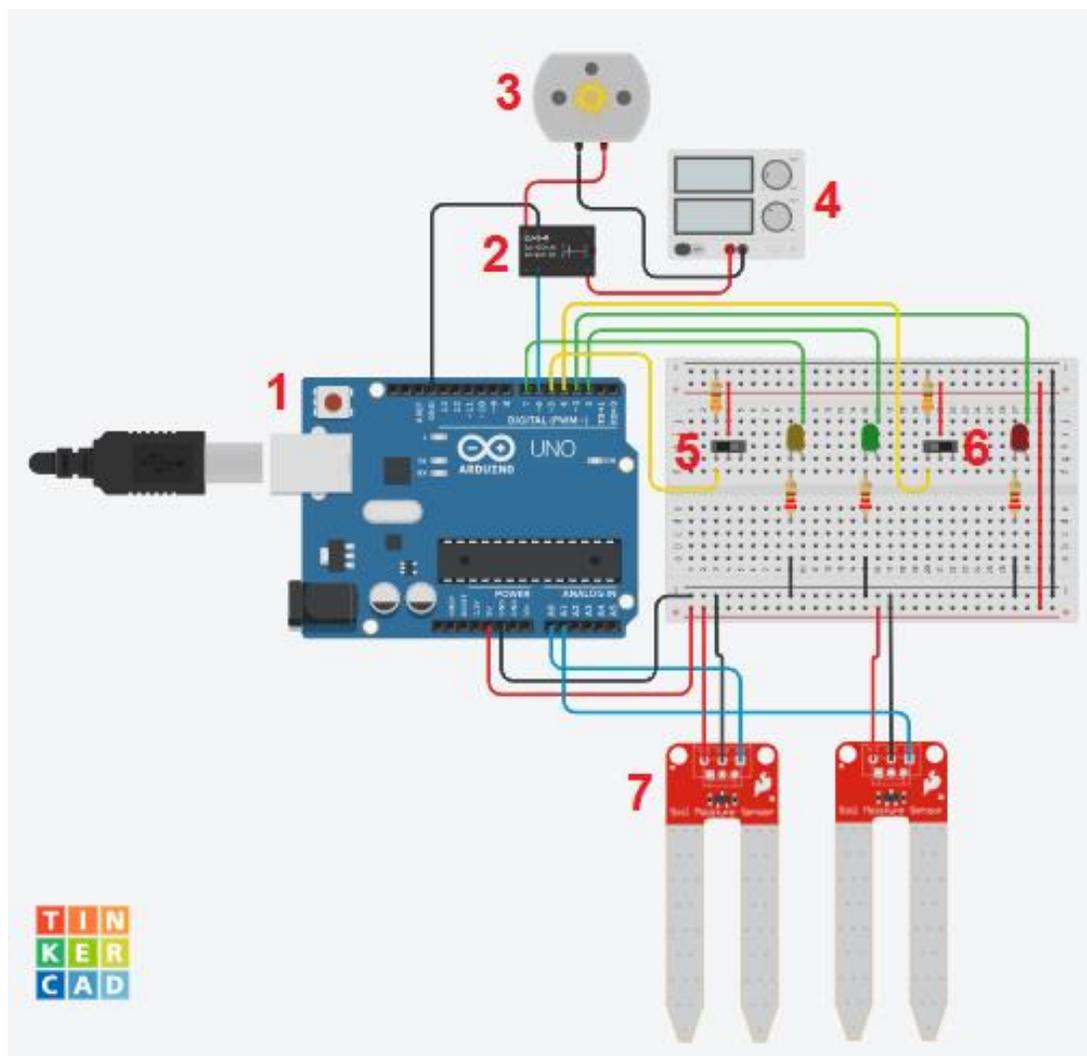
[79] Cables de energia y telecomunicaciones CENTELSA "Cables para el aprovechamiento de la energía solar CENTELSA FOTOVOLTAICOS" Julio, 2015 [En línea]. Disponible en:<https://www.centelsa.com/archivos/Plegable-Cables-Fotovoltaicos.pdf>

ANEXO 1. Explicación detallada de la automatización del sistema de riego

Este anexo proporciona una explicación detallada sobre la automatización del sistema de riego utilizando Arduino en Tinkercad. En este documento, se detallan los elementos utilizados en el diseño, las conexiones necesarias y el código de programación empleado para lograr la funcionalidad deseada. A través de esta descripción, se busca brindar una comprensión completa del proceso de automatización del sistema de riego, permitiendo a los lectores replicar y comprender el proyecto de manera efectiva.

Esquema de conexión y elementos

En la siguiente imagen se muestra el esquema de conexión, numerando cada uno de los elementos.



- 1. Arduino UNO:** Actúa como el cerebro del sistema, controlando las operaciones de acuerdo con el código que se carga en su memoria. Utiliza la información de los sensores de humedad colocados estratégicamente en cada bloque para monitorear constantemente el nivel de humedad del suelo. Basándose en esta información, Arduino Uno toma decisiones sobre cuándo abrir o cerrar las electroválvulas para regular el riego de cada bloque de la huerta. Además, gestiona la operación del modo manual, permitiendo al usuario controlar selectivamente el riego mediante un interruptor.
- 2. Relé SPDT:** En el sistema de automatización de la huerta el Relé actúa como un interruptor controlado por Arduino Uno para regular el suministro de agua a través de la electroválvula en cada bloque. Arduino envía señales al relé para cambiar entre dos posiciones: abrir o cerrar el circuito que alimenta la electroválvula. Esto permite iniciar o detener el riego según las lecturas de humedad de los sensores, asegurando un control preciso del riego en cada área de la huerta.
- 3. Motor CC:** Para efectos prácticos y de demostración, se reemplaza la función de la electroválvula con un motor de corriente continua. En un sistema automatizado de riego, la electroválvula controla el flujo de agua hacia áreas específicas de la huerta. Actúa como una compuerta que se abre y cierra según las instrucciones del controlador, en este caso, Arduino Uno. Cuando se activa, permite el flujo de agua hacia las zonas de riego programadas, asegurando una distribución adecuada. Por otro lado, cuando se cierra, detiene el riego en las áreas deseadas.
- 4. Fuente de poder:** La fuente de alimentación que suministra energía a las electroválvulas en un sistema de riego cumple la función de proporcionar la energía eléctrica necesaria para que las electroválvulas funcionen correctamente.
- 5. Interruptor deslizante modo manual o automático:** El sensor deslizante permite al usuario seleccionar entre los modos manual y automático. Cuando se desliza hacia la posición correspondiente al modo manual, activa un LED amarillo para indicar visualmente que este modo está activo. Esta función otorga al usuario el control directo sobre el sistema, permitiéndole decidir cuándo regar cada área de la huerta de manera independiente. Por otro lado, en el modo automático, el sensor deslizante posibilita que el sistema funcione de forma autónoma, basándose en las lecturas de los sensores de humedad para regular el riego según los niveles predefinidos.
- 6. Interruptor deslizante de riego:** Una vez seleccionado el modo manual en el sistema de riego, el segundo interruptor deslizante cumple la función de permitir al usuario controlar individualmente el riego de cada bloque de la huerta. Cuando se activa este interruptor deslizante, proporciona una señal al sistema indicando qué bloque se desea regar en ese momento. Esta señal se utiliza para activar la electroválvula correspondiente a ese bloque, permitiendo que el agua fluya hacia esa área específica. De esta manera, el segundo interruptor deslizante otorga al usuario un control directo sobre el riego de cada zona de la huerta.

7. Sensores de humedad: Los sensores de humedad desempeñan un papel fundamental en el sistema de riego al monitorear constantemente los niveles de humedad en el suelo de cada bloque de la huerta. Estos sensores proporcionan mediciones precisas de la humedad relativa del suelo, lo que permite al sistema determinar cuándo es necesario activar el riego en cada área. Además, al colocar dos sensores estratégicamente en cada bloque, se realiza un promedio de las lecturas de ambos sensores para obtener una estimación más precisa de la humedad del suelo en esa área.

Por último se tiene el led verde, que al encenderse, indica que el riego está activo y hay flujo de agua. El led rojo, al encenderse, indica que no hay riego ni flujo de agua.

Código de programación

El código proporcionado implementa un sistema de automatización para el riego de una huerta utilizando Arduino. Este código se encarga de controlar el riego de manera automática o manual, según la configuración seleccionada por el usuario. Para ello, lee los valores de dos sensores de humedad colocados estratégicamente en la huerta. Si el sistema está en modo automático, utiliza la lectura de los sensores para determinar si es necesario activar el riego en función de los niveles de humedad del suelo. Por otro lado, en modo manual, el usuario puede controlar el riego de forma independiente para cada bloque de la huerta mediante un interruptor deslizante. El código enciende o apaga LEDs indicadores y activa un relé que controla la válvula de riego, proporcionando una automatización eficaz y adaptable a las necesidades del cultivo.

```
int sensor1 = A0; // Define el pin del primer sensor de humedad como A0
int sensor2 = A1; // Define el pin del segundo sensor de humedad como A1
int lectura_humedad1; // Variable para almacenar la lectura del primer sensor de
humedad
int lectura_humedad2; // Variable para almacenar la lectura del segundo sensor
de humedad
int pinRelay = 6; // Define el pin al que está conectado el relé
int interruptor1Pin = 4; // Define el pin del interruptor deslizante 1
correspondiente al modo manual
int interruptor2Pin = 5; // Define el pin del interruptor deslizante 2 que dicta
si estamos en modo manual o automático

void setup() {
  pinMode(sensor1, INPUT); // Configura el pin del primer sensor como entrada
  pinMode(sensor2, INPUT); // Configura el pin del segundo sensor como entrada
  Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial a 9600 baudios (para
mostrar valores en el monitor serial)
  pinMode(7, OUTPUT); // Configura el pin 1 como salida (LED amarillo)
  pinMode(2, OUTPUT); // Configura el pin 2 como salida (LED verde)
  pinMode(3, OUTPUT); // Configura el pin 3 como salida (LED rojo)
```

```

    pinMode(pinRelay, OUTPUT); // Configura el pin del relé como salida
}

void loop() {
    int manualMode = digitalRead(interruptor2Pin); // Lee el estado del
    interruptor de modo manual/automático

    if (manualMode == LOW) { // Si estamos en modo automático
        lectura_humedad1 = analogRead(sensor1); // Lee el valor del primer sensor de
        humedad
        lectura_humedad2 = analogRead(sensor2); // Lee el valor del segundo sensor
        de humedad
        digitalWrite(7, LOW);
        int promedio = (lectura_humedad1 + lectura_humedad2) / 2; // Calcula el
        promedio de las lecturas de los sensores de humedad

        if (promedio <= 494) { // Si el promedio de las lecturas es menor o igual a
        494
            digitalWrite(2, HIGH); // Activa el LED verde
            digitalWrite(3, LOW); // Desactiva el LED rojo
            digitalWrite(pinRelay, HIGH); // Activa el relé
        } else { // Si el promedio de las lecturas es mayor a 494
            digitalWrite(2, LOW); // Desactiva el LED verde
            digitalWrite(3, HIGH); // Activa el LED rojo
            digitalWrite(pinRelay, LOW); // Desactiva el relé
        }
    } else { // Si estamos en modo manual
        digitalWrite(7, HIGH);
        int manualControl = digitalRead(interruptor1Pin); // Lee el estado del
        interruptor de modo manual

        if (manualControl == HIGH) { // Si el modo manual está activado
            digitalWrite(2, HIGH); // Activa el LED verde
            digitalWrite(3, LOW); // Desactiva el LED rojo
            digitalWrite(pinRelay, HIGH); // Activa el relé
        } else { // Si el modo manual está desactivado
            digitalWrite(2, LOW); // Desactiva el LED verde
            digitalWrite(3, HIGH); // Activa el LED rojo
            digitalWrite(pinRelay, LOW); // Desactiva el relé
        }
    }
}

    delay(1000); // Espera 1000 milisegundos al final del bucle
}

```

En este código, se utilizan condicionales para determinar el comportamiento del sistema de riego según el modo seleccionado (automático o manual) y las lecturas de los sensores de humedad.

El primer condicional se encuentra dentro del bucle “*loop()*” y verifica el estado del interruptor de modo “*manualMode*”. Si el interruptor está en modo automático (valor LOW), se procede a leer las lecturas de los sensores de humedad y calcular su promedio. Luego, se compara este promedio con un umbral (494 en este caso). Si el promedio es menor o igual a este umbral, se activa el LED verde, se desactiva el LED rojo y se activa el relé para iniciar el riego. En caso contrario, se desactiva el LED verde, se activa el LED rojo y se desactiva el relé para detener el riego.

Si el modo está en manual (valor HIGH), se verifica el estado del interruptor de modo manual “*manualControl*”. Si este interruptor está en estado alto, se activa el LED verde, se desactiva el LED rojo y se activa el relé para iniciar el riego. En caso contrario, se desactiva el LED verde, se activa el LED rojo y se desactiva el relé para detener el riego.

De esta manera, los condicionales controlan el comportamiento del sistema de riego en función de los modos seleccionados y las lecturas de los sensores de humedad y los interruptores deslizantes.

Humedad relativa por bloque

Para cada bloque, el valor correspondiente de humedad relativa se calcularía como un porcentaje del rango total de lectura del sensor, que es de 0 a 1023.

- Bloque 1(85%) = $\frac{85}{100} \times 1023 = 869,55$
- Bloque 2(70%) = $\frac{70}{100} \times 1023 = 716,1$
- Bloque 3(80%) = $\frac{80}{100} \times 1023 = 818,4$
- Bloque 1(85%) = $\frac{85}{100} \times 1023 = 869,55$
- Bloque 1(75%) = $\frac{75}{100} \times 1023 = 767,25$

Es importante destacar la importancia de una buena calibración del sensor de humedad para garantizar mediciones precisas y confiables. Una calibración precisa asegura que las lecturas del sensor se correspondan de manera adecuada con los valores reales de humedad en el entorno de aplicación. Una calibración incorrecta puede llevar a mediciones erróneas y a decisiones incorrectas en el sistema automatizado de riego.