

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La palabra hidroponía proviene del griego y significa “trabajo en agua”. El término significa “cultivar plantas sin tierra, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios”¹, presentan varias ventajas como la reducción del tiempo de dedicación; mejoramiento en la calidad del cultivo, porque al regular estas variables las plantas tendrán un óptimo desarrollo; mayor cantidad de plantas en menor espacio.

Los cultivos a campo abierto son dependientes de las condiciones del ambiente (temperatura, luz, humedad, precipitaciones), y son vulnerables frente a la presencia de eventos meteorológicos adversos como lluvias muy intensas, vientos muy fuertes, granizo y temperaturas extremadamente bajas, entre otros. El ser humano ha ideado diversas formas para cultivar en condiciones de ambiente controlados. El invernáculo o invernadero es una de ellas. Gracias a los invernáculos pueden favorecerse las condiciones ambientales de muchos cultivos y además pueden reducirse los efectos de los eventos meteorológicos adversos.²

El agua se convierte cada día en un recurso escaso y costoso a nivel mundial, donde la agricultura es el mayor consumidor, es por eso que se deben tomar medidas para hacer un uso más eficiente del agua.

La agricultura de regadío representa el 20 % de la superficie total de tierra cultivada, y supone el 40 % de los alimentos producidos en todo el mundo.

El riego consiste en la aplicación artificial de agua para ayudar al crecimiento de cultivos, árboles y pastos.

Esto se puede hacer dejando que el agua fluya sobre la tierra (riego por superficie),

¹ Alpízar Antillón, L., (2004). *Hidroponía cultivo sin tierra* (p. 3): 1ra edición. Cartago, Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica

² Hernández Barreto, A. D., (2017). *Manual para la construcción de invernaderos* (p. 1). Montevideo, Uruguay: Centro cooperativista del Uruguay.

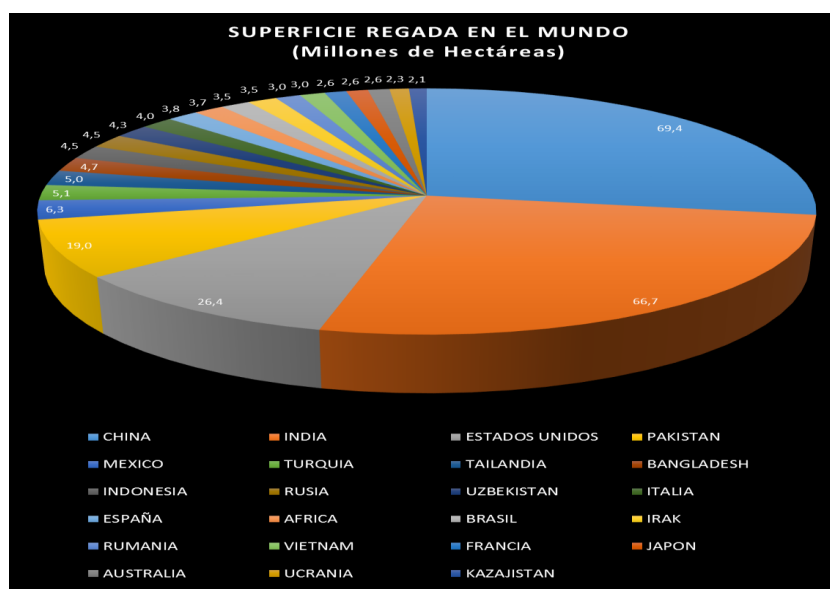
pulverizando agua a presión sobre el terreno en cuestión (riego por aspersión), o llevando el agua directamente a la planta (riego localizado).

El área equipada para el riego en el año 2012 alcanzó en todo el mundo más de 324 millones de hectáreas, de las cuales, aproximadamente el 85 %, o 275 hectáreas están efectivamente regadas.

El riego localizado y por aspersión representa al 14 % de la superficie total equipada para el riego en todo el mundo. Además, el riego localizado se ha extendido rápidamente desde la aparición de las tuberías de plástico baratas en los años 70; desde casi 0,5 millones de hectáreas en 1981 hasta casi 9 millones de hectáreas en el 2010 en todo el mundo.

En el 2010 había más de 35 millones de hectáreas equipadas para el riego por aspersión. Aunque se considera menos eficiente que el riego localizado; ya que es más barato y tiene más movilidad, lo que explica su mayor expansión.

Figura 1.1. Superficie de área regada en el mundo



Fuente: AQUASTAT (Publicación 2014)

A escala mundial, anualmente se extrae una media de 7.700 m³ de agua para riego por hectárea, casi 155 millones de hectáreas se cultivan en todo el mundo, de las cuales la mayor parte no usan tecnología de riego, ocasionando altos consumos de agua causados por la sobre irrigación, lo cual genera un desperdicio de agua.

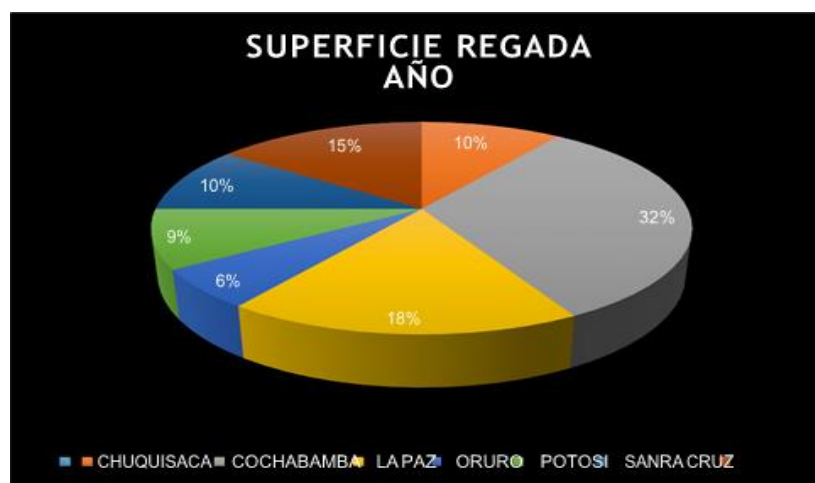
El conocimiento de las necesidades de agua de los cultivos no sólo permite un mejor desarrollo para lograr una mayor producción y mejor calidad de las cosechas, sino que contribuye también a ahorrar considerables volúmenes de agua.

Bolivia es el primer país en América Latina con un ministerio dedicado exclusivamente a la administración de los recursos hídricos integrados: El Ministerio del Medio Ambiente y Agua (MMAyA).

El riego principalmente en Bolivia es del tipo "tradicional o por inundación". El PRONAR (Programa Nacional de Riego) indica a través de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, Food and Agriculture Organization), que la eficiencia del riego no supera el 35 %. Estos sistemas son poco eficientes y más del 50 % del agua se pierde desde las fuentes hasta las parcelas de cultivo, generando mayor escasez.

La Cooperación Sueca y Alemana, a través del Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO), promueve el Modelo de Gestión "Riego Tecnificado para uso más eficiente del agua en la agricultura". Este consiste en introducir cambios tecnológicos en la infraestructura, formas de distribución y aplicación del agua para los cultivos, pero también, permite hacer un uso eficiente del agua, a través de riego presurizado. En Bolivia hasta el año 2012 se cuenta con un registro de 5.669 sistemas de riego en el país, que riegan más de 303.000 hectáreas y son utilizados por más de 283 familias de agricultores.

Figura 1.2. Porcentaje de Superficie regada en Bolivia al año (Hectárea)



Fuente: Sistema de Información de Riego, VRHR-PROAGRO, 2012

Tabla 1.1. Sistemas de riego, usuarios y área regada por departamento

Departamento	Sistemas		Usuarios		Área Regada		Área Regada promedio por familia
	Numero		Familias	Hectáreas			
			%	%			
Chuquisaca	678	14	17.718	8	21.168	9	1,2
Cochabamba	1.035	22	81.925	38	87.534	39	1,1
La Paz	961	20	54.618	25	35.993	16	0,7
Oruro	312	7	9.934	5	14.039	6	1,4
Potosí	956	20	31.940	15	16.240	7	0,5
Santa Cruz	232	5	5.865	3	15.239	7	2,6
Tarija	550	12	15.975	7	36.351	16	2,3
Total	4.724	100	217.975	100	226.564	100	

Fuente: Elaborado en base al Inventario Nacional de Sistemas de Riego – MACIA 2000

Existe poca documentación de las experiencias de innovación tecnológica del riego (esto es general en todos los temas). Si existiese, la dificultad es la poca difusión de la misma.

El riego por aspersión se ha documentado sobre: Mishkamayu, Kholuyo, Chullkumayu, Villa Pereira, Lambate, Escana, etc.

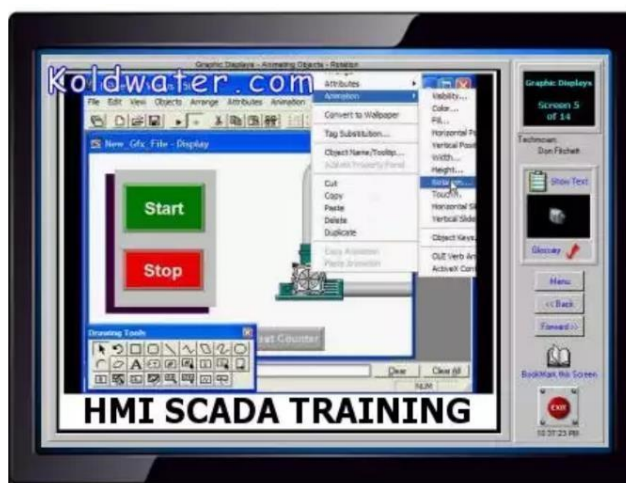
AUTOMATIZACIÓN

Las teorías del hombre comenzaron a tener más relevancia en todos los campos del conocimiento a partir del siglo XX. Es así que la ciencia y la tecnología, juegan un papel importante en el desarrollo del mundo.

Las investigaciones científicas en conjunto con la tecnología moderna han logrado ofrecernos las resoluciones de casi todos los problemas de nuestros días. Esto ha permitido al hombre obtener el control de la naturaleza y de las máquinas creadas por él mismo para que sus labores sean más sencillas. La tecnología puede brindar grandes ventajas, así como grandes retos, en razón de la utilización de máquinas como sustituto a la mano del hombre, hecho denominado “Automatización”, con lo cual le permite tener que asumir otras actividades en el ciclo de la producción.

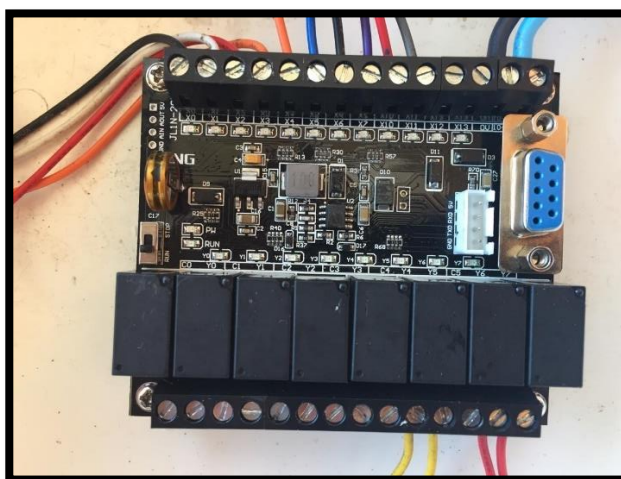
Antes de la aparición del Controlador de Lógica Programable (PLC), el problema de automatizar un proceso en empresas como en industrias, se resolvía por medio de relevadores electromecánicos; estos requerían mucho trabajo de cableado para la operación, por lo que se buscaba siempre tener el control lo más cercano al operador sin mecanismos que compliquen el manejo de la operación. Al surgir los PLC como alternativa de automatización, estos son en su mayoría compactos, ofrecen una gama de opciones que facilitan la programación, así como la rapidez para el flujo de información. La mayoría dispone de interacción con computadoras convencionales para el desarrollo de programas de cualquier control de procesos.

Figura 1.3. Interfaz Hombre Máquina (HMI)



Fuente: www.koldwater.com.

Figura 1.4. Controlador Lógico Programable (PLC)



Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, existe un software muy eficaz que hace el sustituto visual del proceso, así como la simulación, sin la intervención directa del operador, a esto se conoce como sistemas SCADA, de manera general.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento del desarrollo poblacional existe la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria, lo cual está directamente ligado al fenómeno llamado Cambio Climático.

Debido a la necesidad que surge en la agricultura de contar con riego constante y controlado, para así garantizar la productividad y calidad del producto, aparece como alternativa la automatización de los sistemas de riego por la escasez de agua a nivel mundial, ya que el agua es el problema ambiental más serio de los últimos tiempos. Es por esta preocupación que surge la idea de recurrir a alguna alternativa que permita el uso eficiente del agua para el riego agrícola.

Como alternativa eficaz se opta el sistema de riego por goteo, ya utilizado en varios países del mundo, el cual consiste en mantener en constante humedad el espacio agrícola, ello permite que las plantas obtengan constantemente los nutrientes de los suelos, generando su óptimo desarrollo.

1.2.1 Formulación del problema

¿La automatización del sistema de riego tecnificado garantiza un menor consumo hídrico para la agricultura?

1.2.2 Sistematización del problema

¿La automatización sustituye el control manual por controladores automáticos?

¿El sistema de riego mantiene en constante humedad el espacio agrícola?

¿La automatización del sistema de riego necesita una fuente de electricidad constante para su funcionamiento?

1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general:

- Realizar la automatización de un sistema de riego por goteo en función de la humedad

del suelo utilizando la programación SCADA en PLC, aplicado a un módulo experimental en el cultivo de frutilla en la comunidad de Carlazo-Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de control que permita la distribución de agua según el tipo de cultivo, área y condiciones climatológicas del lugar, aplicado a un pequeño sistema de riego.
- Ajustar el riego de acuerdo a las lecturas de los sensores de humedad del suelo, en base a los datos referenciales.
- Distribuir el recurso hídrico eficientemente sobre la parcela con el fin de evitar el riego innecesario.
- Diseñar la forma y captura de datos para su interpretación y actuación, utilizando el software SCADA para controlar el riego en el cultivo.
- Diseñar la automatización del sistema de riego tecnificado por goteo utilizando controladores (PLC's).
- Ejecutar la aplicación experimental la automatización en el cultivo en un invernadero con un sistema semi-hidropónico de frutilla, en la comunidad de Carlazo-Tarija.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Justificación académica

El desarrollo de este prototipo pondrá en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios universitarios, relativos a sistemas de información, diseño y administración de base de datos, técnicas y aplicación de metodologías de desarrollo informático; conocimientos que son base para el ejercicio profesional.

Para hacer un uso eficiente del agua de riego se debe tomar en cuenta que:

1. El sistema de riego este bien diseñado (alta eficiencia del riego).
2. El sistema de riego sea bien manejado.
3. Los riegos se apliquen en las condiciones meteorológicas más adecuadas (en aspersión: riego sin viento, riego nocturno, con la presión suficiente, etc.).
4. Las cantidades de riego aplicadas vayan cubriendo las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo.

5. Para el buen manejo se requiere conocer las necesidades hídricas de los cultivos.

1.4.2 Justificación técnica

Se pretende llegar a desarrollar una de las aplicaciones que existen alrededor de la programación de PLC (Controladores lógicos Programables) en el diseño de la automatización de un sistema de riego tecnificado por goteo.

Básicamente consiste en sustituir el control manual por controladores automático; con esto se pretende optimizar el consumo hídrico, incrementar la eficiencia del sistema de riego, incrementar la productividad agrícola y disminuir la mano de obra.

En la actualidad, existen muchas herramientas para automatizar los diferentes procesos en la agricultura. En este sentido se plantean distintas tecnologías para mejorar los sistemas de riego, en las que deben tenerse en cuenta tanto los requerimientos hídricos de la planta según la evapotranspiración del cultivo, así como la planeación de los riegos, la selección de materiales y tecnologías.

Entre las aplicaciones de las nuevas tecnologías al control automático, se destaca la de los sistemas de riego, de creciente implantación y de fácil utilización, lo que permite su manejo por los agricultores³.

1.4.3 Justificación social

Debido a la escasez de agua y el incremento poblacional que afecta a nivel mundial, se hace uso de la tecnología; ya que vivimos en un mundo globalizado, en constante desarrollo y evolución, y en donde la tecnología es una herramienta que está a la vanguardia en innovación, buscando estrategias que permitan incorporar la tecnología para aumentar la productividad agrícola y disminuir el consumo hídrico para el riego de los cultivos, como alternativa para el desarrollo sostenible de la población.

La necesidad de implementar la tecnología de automatización radica en que la mayoría de los sistemas de riego en nuestro medio no son inteligentes o automatizados, por lo se pretende reemplazar los métodos tradicionales de riego, haciendo un uso más adecuado del agua.

³ Ortega, A. J. y Carrión, P. P. (2002). *Las nuevas tecnologías aplicadas al control automático del riego* (p. 5). España: Universidad de Castilla de La Mancha, Centro Regional.

1.4.4 Justificación institucional

Este estudio aporta información valiosa y relevante para que las instituciones u organizaciones, ya sean públicas o privadas, puedan realizar un mejor uso de los recursos hídricos en la agricultura para satisfacer la demanda alimentaria.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 Marco teórico

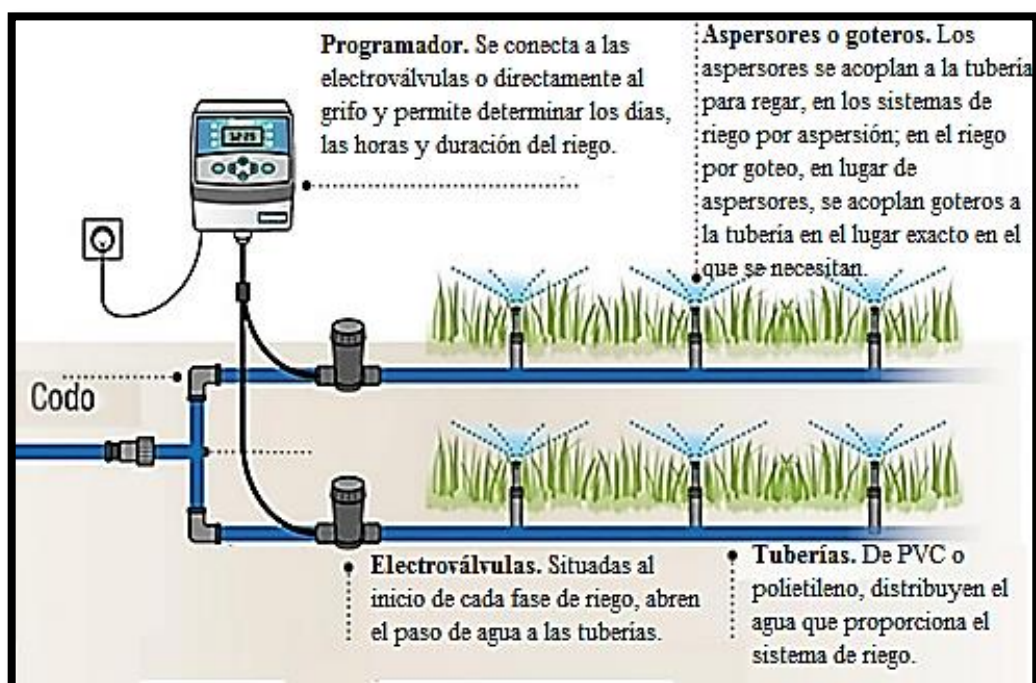
El sistema consiste en la instalación de un invernadero semi-hidropónico con un sistema de riego por goteo, que será controlado por un circuito lógico mediante la gestión del flujo de agua, siendo la salida del circuito de control aplicado a un elemento actuador electro-mecánico. Para ello, una electroválvula reguladora accionada mecánicamente permanecerá abierta en el nivel requerido.

Se incluye también un sistema sensorial que mide la humedad de la tierra para regular el cierre de la electroválvula que realiza el avance del flujo de agua a través del sistema de tuberías para mantener el riego por goteo. Con el sistema desarrollado se logra obtener un ahorro en el consumo de agua de regadío entre otros beneficios.⁴

Este tipo de invernadero semi-hidropónico automatizado ofrece muchos beneficios; como generar un entorno favorable para el desarrollo de cualquier cultivo que se acomode al sistema de nutrición a través de la raíz y no solo se ahorre tiempo en el manejo del cultivo, también espacio, ya que la tierra cada día se encarece más y los terrenos para siembra están limitados, desgastados y contaminados, es entonces cuando la hidroponía se ofrece como una alternativa importante al generar más producción en menos espacio y sin el peligro de la contaminación y no hay que olvidar que se ahorra agua, energía; además, se tendrá menor pérdida en uso de fertilizantes, reduciendo costos e incrementando utilidades

⁴ Gutiérrez, D., Muñoz P., y Suarez, A. (s.f.) *Automatización de un Sistema de Riego Agrícola por Técnica de Goteo y Aspersión* (p. 1): Perú, Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Ricardo Palma – Perú.

Figura 1.5. Esquema Lógico del Sistema de Riego por goteo

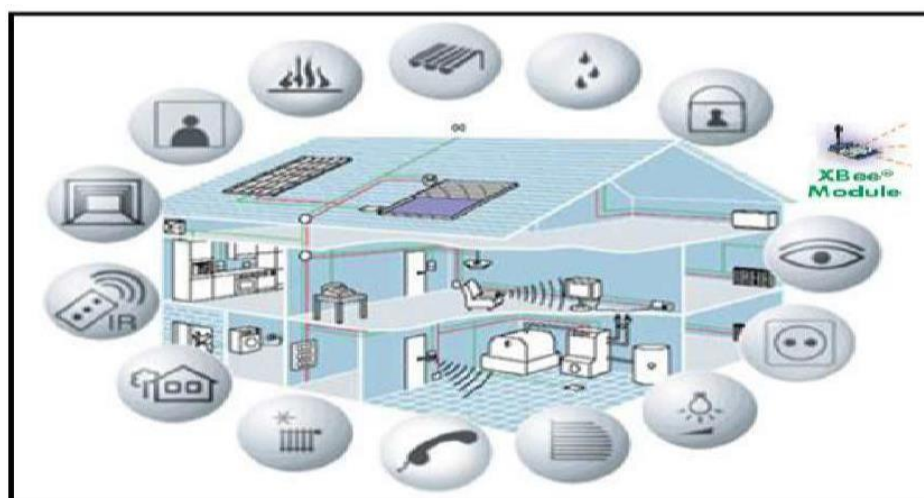


Fuente: Programador picto

1.5.2 MARCO CONCEPTUAL

La tecnología ha avanzado a pasos agigantados en los últimos años. Estos avances no solo se han producido en los campos de la industria, sino también han llegado a nuestros hogares o viviendas que es el sector domótico como se muestra en la figura 1.6.

Figura 1.6. Sistema de un enlace domótico



Fuente: ACUARELATV.NET, La domótica, Junio 2012, www.acuarelatv.net/2013/01/la-domotica.html.

www-World Wide Web-(Red Mundial Global)

1.5.3 Marco espacial

El lugar donde se instalará el prototipo del proyecto se encuentra emplazado en una superficie de terreno de 6 x 6 m² en un invernadero ubicado en la comunidad de Carlazo en la ciudad de Tarija.

1.5.4 Marco temporal

El diseño y la automatización del prototipo de sistema de riego por goteo comprenderá el periodo marzo – junio de 2018.

1.6 ALCANCE

El estudio estará referido solo al diseño hidráulico, tomando datos agronómicos referenciales. Por otro lado, el diseño automático será realizado para un sistema de riego tecnificado por goteo, el cual podrá ser reprogramado las veces que se requiera.

Se usará el método experimental para verificar la correcta automatización del sistema de riego. La metodología para incorporar innovaciones tecnológicas en procesos de riego incluye las siguientes etapas:

- Realizar el diseño hidráulico del pequeño sistema de riego por goteo.
- Diseñar la automatización de acuerdo al diseño hidráulico, las características del cultivo y el sistema semi-hidropónico, analizando los valores de conductividad eléctrica captados por los sensores de humedad.
- Aplicar el modelo de innovación tecnológica para la automatización del sistema de riego por goteo.

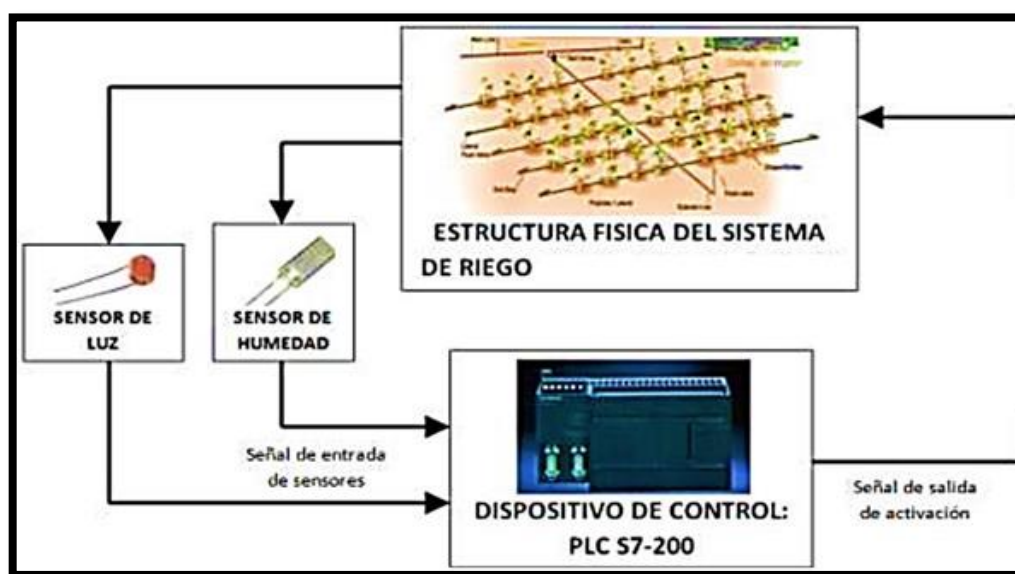
Se trata de un sistema de riego totalmente automático que es disparado por humedad. Los sensores de humedad miden la humedad que hay en la tierra, y estos sensores mandan una señal al PLC (Controlador Lógico Programable), evaluando si hay que regar el terreno. En ese caso, el PLC dará la orden para que se activen las electroválvulas, y cuando llegue a la humedad que fija el usuario como límite, cierra las electroválvulas para evitar que siga regando más de lo necesario.

Se diseñará la metodología de funcionamiento para el circuito de control del sistema de riego. Se utilizarán entradas de sensores de humedad con los que se determinará un rango de humedad constante durante el riego. La activación y desactivación del circuito será

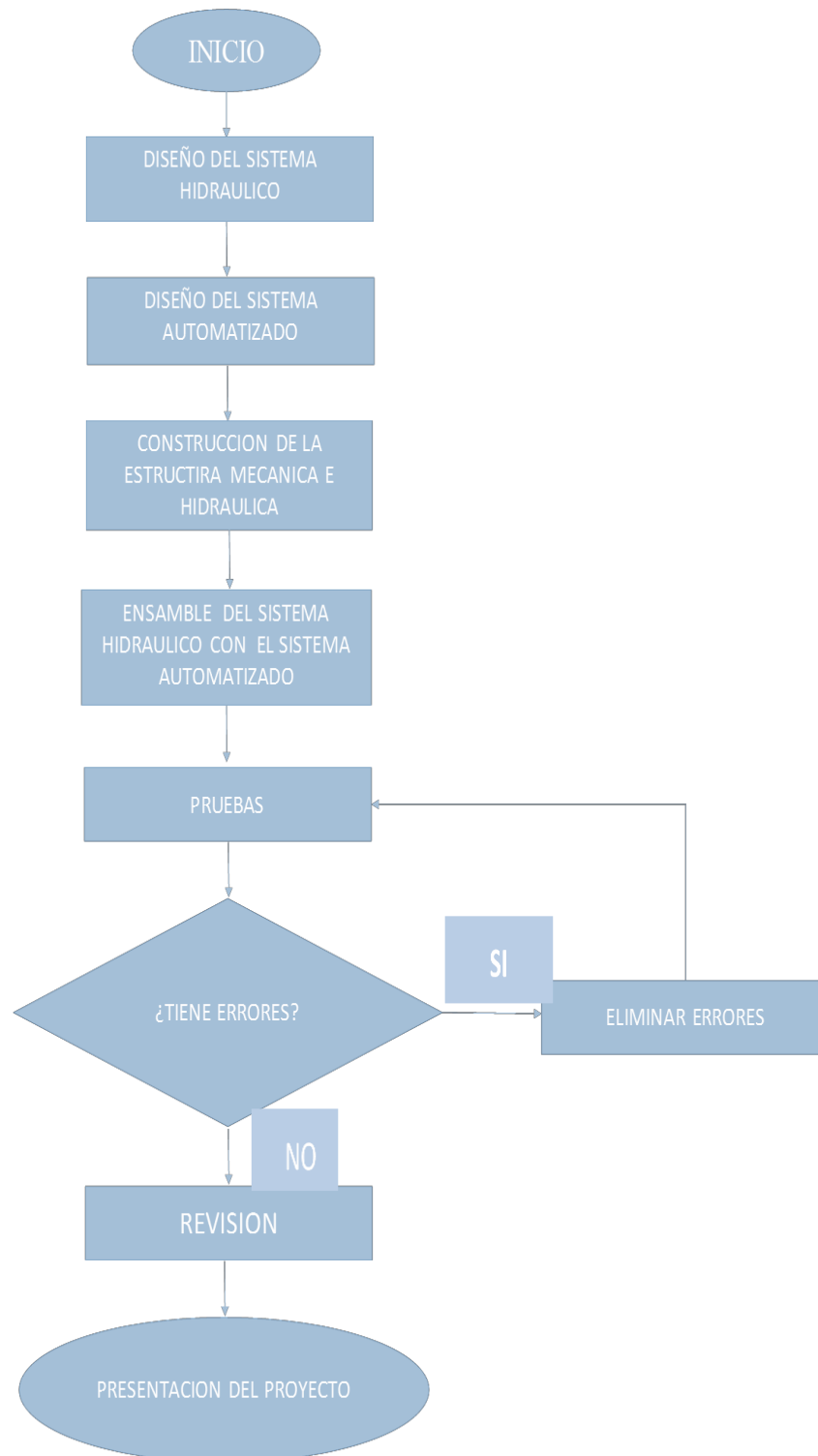
controlada por un contador que permita determinar las horas de operación del sistema. Existirá una única salida que permita el cerrado de la llave reguladora activada por una electroválvula y por un circuito electrónico.

Con la instalación física del sistema de riego propuesto, se logrará mejorar y optimizar los regadíos a nivel doméstico y agrícola. El sistema y sus componentes se muestran en la Figura 1.7.

Figura 1.7. Sistema de automatización



Fuente: Manual de Automatización del PLC

Figura 1.8. Diagrama de flujo del prototipo del proyecto

Fuente: Elaboración Propia (Manual de programación)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Los cultivos bajo invernaderos han permitido, con el pasar de los años, tener productos de buena calidad; pues alargan el ciclo del cultivo, permiten producir en lugares de difíciles condiciones y se obtiene no solo calidad, sino también cantidad. Adicionalmente, se deben tener en cuenta los cultivos sin suelo, hidroponía (trabajo en agua) o Aeroponía que a pesar de que tienen tiempo de investigación e implementación son métodos poco conocidos de producción agrícola y es un centro de atracción para muchas personas que quieren cultivar sus vegetales y frutos frescos, sin preocuparse de excesos de fertilización, pesticidas, clima, problemas de la tierra, etc.

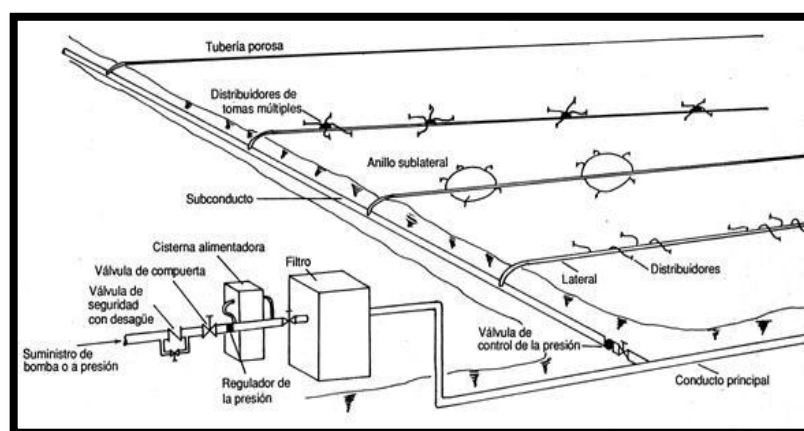
La tendencia actual es perfeccionar el sistema mediante el uso de programación en forma automatizada. La producción tecnificada ha llevado a introducir factores de manejo que permiten regular el medio ambiente; los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos son innumerables. Es así como mediante el uso de invernaderos se ha logrado crear condiciones ambientales que llevan a optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas, con el fin de aumentar su productividad y calidad.

Solo a partir de las últimas décadas se ha enfrentado el riego con un enfoque científico racional, que permite utilizar el recurso con mayor eficiencia, minimizando efectos adversos como la erosión, el drenaje deficiente y la salinización de los suelos. Problemas como la falta de recursos económicos, el deficiente manejo de los suelos y la baja rentabilidad de la agricultura han limitado el progreso del riego y del drenaje en nuestra región. En relación con los métodos de riego, el riego gravitacional superficial se usa en más del 95% del área regada y con eficiencias de aplicación muy por debajo de la eficiencia de diseño. El riego por aspersion se utiliza en menos del 3% del área regada, principalmente en Brasil, donde un 60% del área regada utiliza este método. Se calcula que en el riego por goteo se usa en unas 150.000 hectáreas, menos del 1% de la superficie regada total.⁵

⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2014). *Base de*

Se conoce que el 75% de la superficie que rodea el manto terrestre de nuestro planeta está constituido por agua; sin embargo, apenas un 2,5% es agua dulce, es decir apta para el consumo humano. El agua es un recurso indispensable para la vida, la cual no es inagotable, por lo que la preocupación de que se agote, se ha incrementado globalmente. Dicho recurso es empleado en grandes cantidades para el desarrollo de la actividad agrícola, por lo que el diseño de sistemas de riego que permitan administrar el agua eficientemente es de suma importancia para su conservación. (FAO, 2010)

Figura 2.1. Modelo de tecnificación de riego



Fuente: riosdeldesierto.blogspot.com

Se denomina sistema de riego tecnificado, al conjunto de elementos que permiten que la aplicación del agua y los fertilizantes al cultivo sea en forma eficiente, localizada, con una frecuencia adecuada, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno.⁶

Esta aplicación, se hace mediante una red de tuberías (de conducción y distribución de PVC o Polietileno), laterales de riego (mangueras o cintas), con emisores o goteros, con diseños técnicos que entregan pequeños volúmenes de agua periódicamente, en función de los requerimientos hídricos del cultivo y de la capacidad de retención del suelo.

La tecnificación busca en sí, la optimización del diseño hidráulico, ahorro en energía y dinero, así como la aplicación uniforme de agua en el suelo para mejorar la producción de los cultivos.

Datos Principal AQUASTAT. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>.

⁶ *Datos Principal AQUASTAT.* Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>.

2.2 CONCEPTOS GENERALES

2.2.1 Caudal

Se define el caudal como la cantidad de agua que pasa por una conducción o tubería en un tiempo determinado. Los caudales se miden principalmente en las siguientes unidades:

- litros/segundos (l/s)
- litros/hora (l/h)
- metros cúbicos/hora (m³/h)

2.2.2 Presión

Los sistemas de riego localizado y aspersión están basados en la conducción del agua desde un punto de almacenamiento hasta los emisores, discurriendo durante todo el trazado o red de distribución dentro de unas tuberías cerradas. Para que el agua llegue a todos los puntos de emisión, es preciso que circule con una determinada presión. De esta forma, se podrá superar la diferencia de altura a la que esté situada la parcela, vencer el rozamiento con las paredes de las tuberías y los distintos elementos que componen el sistema (uniones, codos, tes, válvulas, reguladores, etc.) y hacer funcionar correctamente los emisores (en riego por aspersión los aspersores).

La presión se puede definir como la fuerza ejercida sobre una superficie determinada. En referencia al agua que circula en una tubería, la presión es la fuerza que ejerce el agua sobre las paredes de ésta y los distintos elementos que componen el sistema.

Las principales unidades en que se mide la presión del agua en una conducción o tubería son las siguientes:

- Atmósferas (atm)
- Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm²).
- Metros de columna de agua (m.c.a.)
- Megapascales (MPa)

En sistemas de riego a presión, localizado y aspersión, las presiones suelen indicarse en “kilos” aunque es frecuente que las casas comerciales indiquen las características de funcionamiento de sus equipos en otras unidades.

La relación existente entre las más frecuentes es: $3 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m.c.a.} = 0,1 \text{ MPa}$

2.2.3 Pérdidas de carga

A medida que el agua dotada de presión circula por las tuberías y atraviesa los distintos elementos del sistema va perdiendo parte de dicha presión debido al rozamiento. A esta pérdida de presión se le denomina pérdida de carga, y se expresa en las mismas unidades que la presión, normalmente en metros de columna de agua (m.c.a.).

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de las siguientes condicionantes:

- Diámetro interior de la tubería, teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- Longitud de la tubería, sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- Caudal, siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- Tipo de material de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, etc.).

El valor de las pérdidas de carga que originan los diferentes elementos del sistema como uniones, codos, válvulas, medidores, etc. debe ser suministrado por el fabricante. Igualmente, la pérdida de carga en las tuberías debe ser solicitada al fabricante, aunque para ciertos tipos de materiales y diámetros más usuales pueden encontrarse valores en publicaciones referidas a sistemas de riego por presión.

A la hora de realizar el diseño hidráulico de la red de riego es imprescindible tener en cuenta todas las pérdidas de carga que puedan ocasionarse, con objeto de que en el punto más desfavorable de la instalación exista suficiente presión para que el emisor suministre el agua de forma adecuada.

2.2.4 Elevación del agua

En determinados sistemas de riego el agua fluye por su propio peso, alcanzando así de forma natural una presión determinada, desde el lugar de origen hasta la parcela de riego cuando la diferencia de altura entre ambos es suficiente. De no ser así, será preciso elevar

el agua hasta un lugar de almacenamiento de forma que obtenga presión por diferencia de altura, o bien dotarla de una presión determinada.

Actualmente suele ser habitual que el agua se encuentre a una altura insuficiente, a nivel o subterránea, por lo que es necesario elevarla (suministrarle presión) usando un sistema de bombeo. Las bombas son los elementos de la instalación que suministran el caudal de agua necesario a la presión adecuada.

Normalmente se utilizan bombas hidráulicas accionadas por motores eléctricos o motores de combustión interna. En la mayoría de los casos las bombas hidráulicas actúan en dos fases: aspiración e impulsión.

2.2.5 Tuberías

Las tuberías que trabajan “a presión” permiten conducir el agua, aún a contrapendiente. Para eso requieren de cierta cantidad de energía por unidad de peso, proporcionada por una unidad de bombeo.

2.2.5.1 Ventajas

- Conducen el agua directamente a los puntos de aplicación
- No existen pérdidas de agua
- No dificultan las operaciones de las máquinas ni el tránsito
- Requieren menos mantenimiento y conservación que los canales en tierra y las regueras

Los materiales más comunes para los sistemas de riego tecnificado son las de PVC y PE (polietileno) teniendo características de mayor de mayor resistencia mecánica las de PVC con relación a las de PE.

Otra tubería muy usada es la de aluminio, debido a su poco peso y su fácil sistema de acople, tiene gran aceptación en los sistemas de riego por aspersión móvil.

2.2.6 Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)

Existen grandes diferencias entre las propiedades físicas y químicas de los plásticos más comunes, lo cual origina que existan diferentes tipos y grados. El PVC da lugar a cuatro tipos que llegan a tener diferentes grados y existen tres tipos principales de tuberías de

PVC, los cuales son calibre 40, 80 y 120; se utilizan para el encaminamiento del agua a través de hogares y sistemas de riego.

Figura 2.2. Tuberías PVC



Fuente: www.pointp.es

Como se ha mencionado el uso más común de las tuberías de PVC es en la conducción de agua, en la succión e impulsión; dentro de la impulsión las tuberías se dividen en línea principal, secundaria y ramales.

Generalmente la línea principal y las líneas secundarias son de PVC, siendo la primera de mayor diámetro.

2.2.7 Tuberías de polietileno (pe)

El etileno se deriva en polietileno, provocando su polimerización al someterlo a un proceso de calor y presión. Las tuberías de PE se logran mediante extracción; éstas presentan dos ventajas con respecto a las de PVC:

- Se pueden instalar al aire libre (ya que las de PVC si se exponen por largos períodos a los rayos solares pueden ver mermadas sus propiedades mecánicas).
- Es flexible y menos frágil.

Así mismo, éstas presentan diferentes tipos de tubos de polietileno, comercialmente se fabrican tres tipos, de baja, media y alta densidad.

De los tres el de mayor uso en los sistemas de riego tecnificado es el de baja densidad usado en los ramales por su flexibilidad.

Figura 2.3. Tubería de Polietileno (PE)



Fuente: www.pointp.es

2.2.8 Selección del diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería a emplearse en el sistema se obtiene en función del caudal y bajo los siguientes parámetros:

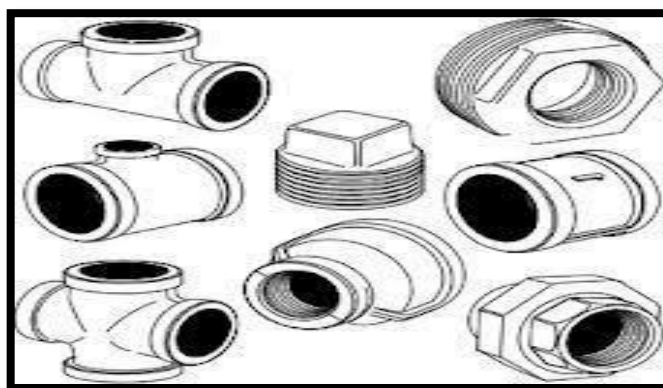
- Para mínimas pérdidas; mayor diámetro de tubería.
- Para mínimos costos; menor diámetro de tubería.

2.2.9 Accesorios

Se entienden por fittings a los accesorios usados para unir tuberías en virtud de la geometría de instalación.

Estos se fabrican de diversos materiales (PVC, PE, bronce, aluminio, acero, fundición, hormigón, etc.) teniendo gran cantidad de formas y dimensiones. Para mayor información basta recurrir a un catálogo especializado donde se encuentran sus características físicas (diámetros, longitudes, pesos, etc.).

Figura 2.4. Accesorios varios



Fuente: www.cl.all.biz/fitting-y-accesorios

2.2.10 Electroválvulas

En todo sistema de riego es necesario instalar distintos tipos de electroválvulas y aparatos de control para garantizar su funcionamiento adecuado. En este apartado se describe el funcionamiento, ubicación y mantenimiento para garantizar que cumplan con eficiencia su trabajo.

2.2.10.1 Criterios de clasificación de válvulas

Tipo de accionamiento:

- Manual
- Motorizada
- Hidráulica
- Neumática
- Electrónica (Electroválvula)

Forma de cierre:

- Tajadera
- Giro
- Asiento
- Diafragma

Función que realizan:

- Válvulas de control (automáticas, hidráulicas, accionadas por la misma energía del fluido como la válvula de boya en un depósito, etc.)
- Válvulas de regulación (accionadas manualmente o por un autómata).
- Válvula Reductora-Sostenedora de Presión, Válvula Limitadora de Caudal, etc.
- Válvulas de protección (válvula antirretorno, ventosa, etc.).
- Válvulas de operación (mantenimiento diario) (hidrante, llave de paso de una acometida, etc.).

Figura 2.5. Electroválvula



Fuente: Elaboración propia

2.2.11 Sensores

Son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Figura 2.6. Tipos de sensores



Fuente: www.wegtron.com

Este sensor de humedad puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea. Es un sensor tipo capacitivo, lo que lo hace más resistente a la corrosión y más confiable en mediciones a largo plazo. Es especial para su uso con Arduino o cualquier microcontrolador con las siguientes características:

- Voltaje de funcionamiento: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Voltaje de salida: 0 ~ 3.0VDC

- Conector: PH2.0-3P
- Dimensiones: 98mm * 23mm (3.86in x 0.905in)
- Peso: 15g

Figura 2.7. Sensor de tipo capacitivo



Fuente: Elaboración propia

2.2.12 Técnicas para determinar la humedad del suelo

La medición del contenido de agua en el suelo, se puede llevar a cabo usando métodos realmente sofisticados.

Se trata de técnicas que requieren el uso de sistemas electrónicos complejos y esto dificulta la incorporación en sistemas de riego automático a gran escala, como la monitorización de grandes superficies. Cuando se realiza un buen posicionamiento de los sensores para conseguir muestras representativas a lo largo de toda la parcela, se pueden conseguir resultados significativos.

Existen diferentes técnicas para determinar el estado de humedad del suelo basadas en la utilización de sensores de humedad.

Según la manera de indicar el contenido de agua en el suelo, hay dos tipos de sensores: los que miden la tensión o succión a la que está retenida el agua en el suelo, y los que miden el contenido total de humedad en el suelo, expresado en porcentaje volumétrico. Un parámetro utilizado para determinar el momento de riego es la tensión de la humedad en el suelo. Se emplea para programar el riego en sistemas de aspersión, micro irrigación y goteo.

El principio teórico en que se basa señala que: la presión capilar del agua en el suelo indica la fuerza que debe ser ejercida para extraerla del suelo, por tanto, esta medición permite la determinación de un déficit de humedad; a continuación, se explican sus características:

- **Sistemas de medida del contenido volumétrico de agua, Equipos TDR:** Instrumentos electrónicos con una unidad controladora que almacena las mediciones de humedad. El controlador está conectado a un par de varillas de acero inoxidable que se colocan en el suelo a la profundidad deseada. Mide de manera directa el contenido volumétrico del suelo, entregando valores promedio para el largo de las varillas. Su instalación es sencilla, las mediciones son inmediatas y se pueden realizar de forma simultánea en el mismo punto. Sin embargo, son equipos de alto costo, requieren un contacto perfecto de las varillas con el suelo, no apto para suelos pedregosos, y presenta problemas en suelos con contenidos altos de sales y materia orgánica.
- **Sonda de capacitancia, FDR (Frecuency Domain Reflectometry):** Se compone por tres secciones: Unidad controladora, guarda las mediciones de humedad y transmite datos al computador; Sonda, mide la humedad; y, Tubo de acceso, permite introducir la sonda al interior del suelo. Este aparato mide la humedad volumétrica a distintas profundidades. Para realizar la medición, se instala el tubo de acceso, el cual permitirá introducir la sonda, compuesta de varios sensores colocados a diferentes distancias, donde cada anillo registra el contenido de humedad del suelo. Es un equipo que realiza lecturas a distintas distancias en el mismo tubo de acceso. Pero su instalación no es fácil, ya que es complicado mantener un buen contacto entre el tubo de acceso y el suelo, además de su alto costo y su baja precisión para suelos de textura fina.
- **Sistemas de medida del potencial de agua del suelo, Tensiómetros:** Es un dispositivo que responde a cambios de tensión de humedad en el suelo y su funcionamiento se rige por la fuerza de succión del suelo. La capa de cerámica simula el movimiento del agua a través del suelo. Mientras más seco se encuentra el suelo, más alta será la lectura del tensiómetro. La interpretación de la lectura de un tensiómetro varía según el cultivo, el tipo de suelo y curva de humedad correlacionada. Sin embargo, se puede tomar de referencia que de 0 a 10 centibares (Cb) el suelo está saturado; de 10 a 20 Cb, el suelo está en CC; y, de 30 a 60 Cb, el suelo está seco y debe regarse de inmediato. Estos

aparatos se instalan en la zona de mayor actividad de raíces, sobre el bulbo de humedad que forma el riego, y normalmente se usan en pares, uno se sitúa sobre el bulbo húmedo y otro por debajo de bulbo, para conocer la profundidad del riego. Es un equipo práctico, económico y fácil de instalar. Sin embargo, requiere ser calibrado para cada suelo y al estar expuesto a suelos secos el aire entra al sistema y se puede generar el fenómeno de cavitación, rompiendo la columna del agua a lo largo del tubo y parcialmente dejar de funcionar.

También su uso se limita a cultivos con riegos de alta frecuencia, donde no se lleguen a tensiones mayores a 70 Cb, requiere mantenimiento periódico y no funciona bien en suelos de texturas gruesas. Sensores de resistencia eléctrica (bloque poroso o yeso), consiste en dos electrodos en paralelo contenidos en un cubo de material poroso, comúnmente yeso (CaSO_4). Los electrodos se unen a un cable, que sale a la superficie del suelo para medir la resistencia entre ambos. Esta medida se realiza con un ohmiómetro portátil. La resistencia cambiará en función del agua contenida entre el bloque, indicando la tensión de agua en el suelo.

Cuando el suelo está húmedo, la resistencia es baja. Pero la desventaja de estos aparatos es que no comienzan a perder agua hasta cerca de los 30 Cb, por las características del bloque.

- Bloques de matriz granular (GMS): Son una modificación patentada en 1985 de los bloques de yeso, el funcionamiento es prácticamente el mismo, sin embargo, estos pueden durar más tiempo funcionando por sus características.
- Sensor tipo trinche: Sus técnicas dieléctricas se basan en la dependencia de las propiedades dieléctricas del suelo con el contenido de agua. Una de las más empleadas actualmente son las sondas capacitivas.

Con este método se puede observar a nivel de campo cuando exista carencias de agua en nuestro cultivo y en base a ello, con un sistema automatizado, se puede programar la secuencia de riego.

El circuito integrado en su salida entrega un tren de pulsos de frecuencia variable. Para determinar la relación de la variación de la frecuencia con la humedad se utilizó una tabla de acuerdo al tipo de suelo.

Tabla 2.1. Datos de la humedad del suelo con su respectiva frecuencia

% Humedad	Frecuencia (Hz)
0	0
10	56
20	141
30	278
40	467
50	533
60	734
70	875
80	1089
90	1345
100	1.821

Fuente: Conductividad eléctrica

La calibración del sensor de humedad se realiza tomando los datos al 100% de humedad que sería el valor crítico, para una frecuencia máxima de 1821Hz, los cuáles serán grabados en el microcontrolador.

2.2.13 Factores a considerar en la elección de sensores de humedad

Para elegir un sensor se debe considerar los siguientes aspectos:

- Conocer el funcionamiento teórico del aparato; para en un futuro determinar si el funcionamiento de este es correcto.
- Conocer cuál es el grado de error inherente que el proveedor establece para el aparato que se pretende elegir; para en un futuro poder determinar una adecuada calibración en campo.
- Determinar el presupuesto para la adquisición, considerando el número de equipos que se requieren para un monitoreo representativo, los costos de instalación, la manipulación para obtener datos y los costos de mantenimiento.
- Otros factores que se deben tomar en cuenta son las características del perfil del suelo y

el cultivo para el cual se harán las mediciones; de ello dependerá el grado de precisión con la que se requiere medir la humedad.

La capacidad de retención de humedad de los suelos varía con la textura, la estructura y la composición química.

Para fines de riego, esta se considera como la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitamiento.

La reserva del suelo (SR) es la profundidad aproximada de humedad aprovechable en mm, retenida en el suelo por metro de profundidad, con valores aproximados de la reserva del suelo.

Tabla 2.2. Textura de los suelos

Textura de los suelos	Almacenamiento de los suelos (mm/m)
Pesados (suelo arcilloso)	165 a 210
Medios (suelos francos)	125 a 165
Livianos (suelos arenosos)	85 a 125

Fuente: Revista tecnológica Volumen 7, N° 1

El almacenamiento efectivo del suelo (ESR) en mm de humedad, puede estimarse de la profundidad radicular efectiva, del almacenamiento de humedad del suelo y de la depleción (agotamiento), SR, permisible.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Los métodos de riego establecen técnicas para infiltrar el agua al perfil del suelo donde se desarrollan las raíces, hasta un contenido de humedad adecuado para el cultivo. La finalidad es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, en zonas con déficit.

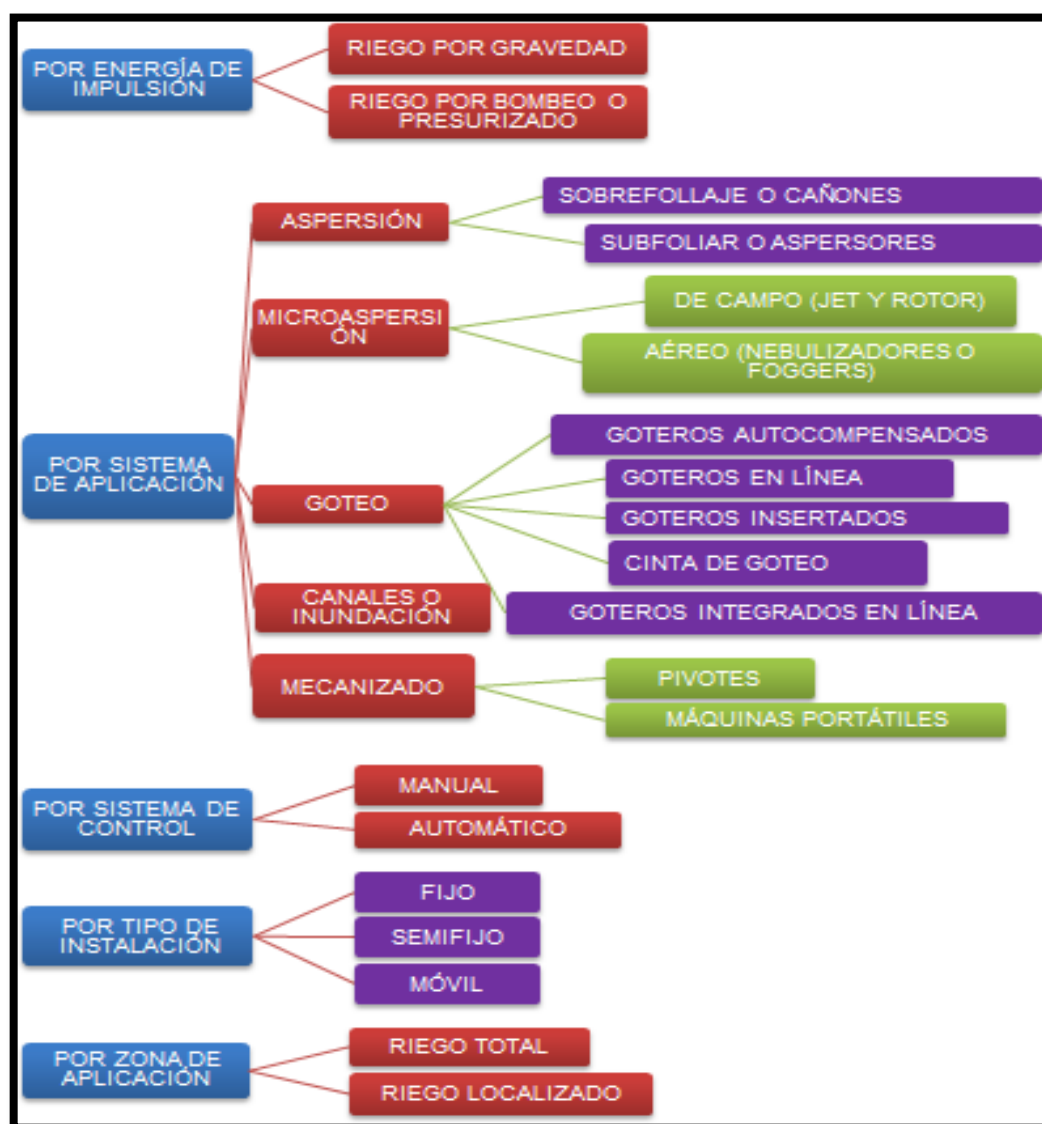
En la actualidad, son tres los métodos de riego utilizados en agricultura: superficie, localizado y aspersión. En el riego por superficie el agua discurre sobre el suelo aprovechando la fuerza de gravedad y la pendiente de la parcela en su caso, sin necesidad de dotar al agua de presión. En el caso del riego localizado y del riego por aspersión, es

necesario suministrar al agua una energía determinada para que ésta circule por las tuberías a presión.

Cuando el agua de riego circula o se encuentra almacenada en balsas, embalses, canales, ríos, etc., y estos se encuentran situados a un nivel suficientemente alto con respecto a la parcela de riego, el agua, conducida por una red de distribución cerrada, adquiere una determinada presión. Ésta se debe a la energía que tiene por la propia diferencia de altura con respecto a la parcela.

Básicamente podemos clasificarlos bajo 5 aspectos principales:

Figura 2.8. Clasificación de los sistemas de riego



2.2.14 Sistema de riego por superficie (gravedad)

En el riego por surcos el agua se mueve por gravitación, es decir el agua se desliza siguiendo la pendiente y no requiere de energía extra para darle movimiento. La calidad del riego depende en un principio de la sistematización del terreno y por eso es muy importante realizar un buen relevamiento planialtimétrico del lote a regar y un correcto diseño de los surcos especialmente en orientación y en longitud.

Un sistema de riego por surcos está compuesto básicamente por: una cañería de conducción (manga de polietileno, caño de PVC o de aluminio) que se ubica en la cabecera de los surcos y boquillas, válvulas o ventanas para verter el agua en los surcos.

Figura 2.9. Surcos de riego



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.2.14.1 Características del riego por superficie

- La profundidad radicular se moja mediante la infiltración del agua a través del perímetro del surco.
- El agua cubre parcialmente el terreno entre surco y surco.
- El perfil se humedece en profundidad y lateralmente.

2.2.14.2 Ventajas

- Se adapta a cultivos en línea.
- Se usa en todo tipo de suelos, con buena infiltración y baja erosión.
- Los suelos más favorables son los francos y francos-arcillosos.
- Los costos de instalación y operación son bajos.

2.2.14.3 Desventajas

- No es conveniente regar en terrenos salinos o con agua con sales.
- Los terrenos arenosos no son aptos por las pérdidas por infiltración.
- Los suelos muy arcillosos tampoco favorecen el método por las pérdidas por escorrentía.

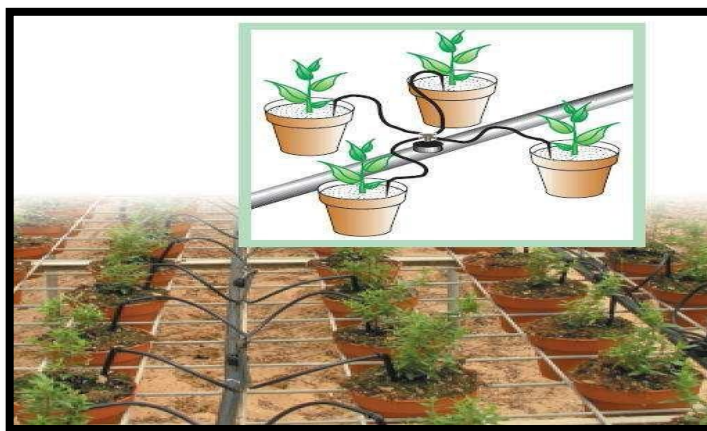
2.2.14.4 Formas y dimensiones de los surcos

- Pueden ser triangulares o rectangulares.
- El tamaño depende del cultivo y de las labores culturales.

2.2.15 Sistema de riego tecnificado por goteo

Es un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos, en condiciones de utilización más favorables para la planta. Mantiene el agua en la zona radicular, aplicándola gota a gota. Por medio de cañerías el agua se lleva a la planta, que se distribuye por goteros o emisores.

Figura 2.10. Sistema de riego por goteo



Fuente: www.hydroenv.com.mx

2.2.15.1 Características del riego por goteo

- Mejora tecnológica que contribuye a una mayor eficiencia.
- El agua se mueve en dirección vertical y horizontal, formando el bulbo de humedad.
- Se tiene un nivel óptimo de humedad, con baja tensión de retención por el suelo y con la humedad siempre cercana a la capacidad de campo.

2.2.15.2 Ventajas

- Ahorro de agua.
- Posibilidad de regar todo tipo de terrenos.
- No altera la estructura del terreno.

2.2.15.3 Desventajas

- Alto costo de instalación.
- No protege contra heladas.
- Debe estar bien proyectado ya que una deficiencia puede tener graves consecuencias.
- Obstrucción de goteros.

Las cintas de goteo son tuberías de material poroso que distribuyen el agua de forma continua a través de los poros, lo que da lugar a la formación de una franja continua de humedad, que las hace muy indicadas para el riego de cultivos en línea. Humedecen una gran superficie y es especialmente empleado en suelo arenoso, también puede utilizarse en el riego de árboles.

Las presiones de trabajo son menores que las de los goteros; esto hace necesario el empleo de reguladores de presión especiales o micro limitadores.

2.2.16 Sistema de riego tecnificado por aspersión

El riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor.

Normalmente, la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río o pozo. Sin embargo, el sistema también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en una posición más elevada que el terreno a regar.

El objetivo del riego por aspersión es proporcionar el agua que requieren los cultivos mediante una precipitación artificial de intensidad controlada que permita, en general, un proceso de infiltración en condiciones de subsaturación. Estas características facilitan el proceso de distribución de agua y evitan la escorrentía y, por tanto, la alteración superficial del suelo.

El agua recorre un sistema de tuberías hasta llegar al emisor, que la lanza a la atmósfera. En el tramo de tubería, la corriente de agua solamente está condicionada por consideraciones hidrodinámicas, pero durante el recorrido por la atmósfera se pierde bastante el control sobre la misma. Los efectos climáticos son de importancia crucial para el proyecto y manejo de este sistema de riego.

Figura 2.11. Sistema de riego con aspersores



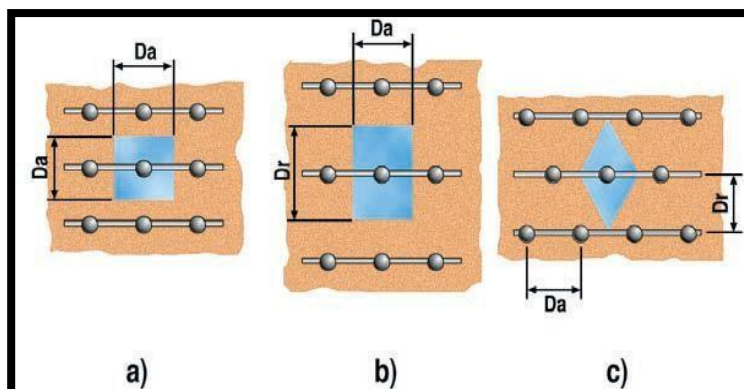
Fuente: www.civiagro.com

2.2.16.1 Características del riego por aspersión

El riego por aspersión se deriva fundamentalmente de tres aspectos fundamentales:

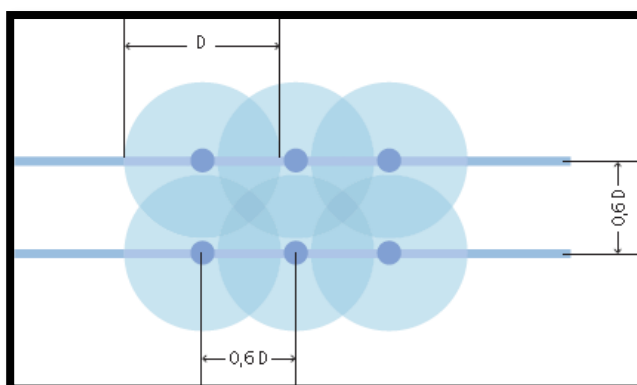
- El control del riego, el cual está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del reparto).
- La uniformidad de aplicación, la cual es independiente de las características hidrofísicas del suelo.
- La distribución de los aspersores depende de las características del terreno y tipo de cultivo.

Figura 2.12. Valores de separación entre aspersores y los ramales de aspersión para cada tipo de marco de riego



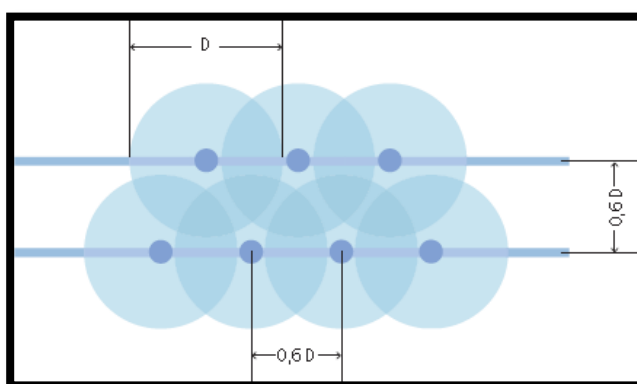
Fuente: www.ingenieriarural.com

Figura 2.13. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco cuadrado



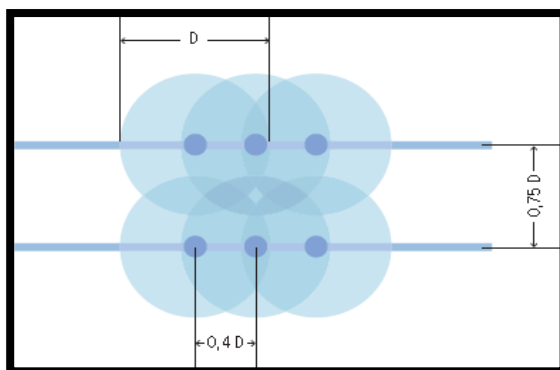
Fuente: Manual de riego para agricultores: módulo 3. *Riego por aspersión*, de Rafael Fernández Gómez et al. 2010, (p. 29).

Figura 2.14. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco triangular



Fuente: Manual de riego para agricultores: módulo 3. *Riego por aspersión*, de Rafael Fernández Gómez et al. 2010, (p. 29).

Figura 2.15. Separación recomendada entre aspersores y ramales de aspersión en marco rectangular



Fuente: Manual de riego para agricultores: módulo 3. *Riego por aspersión*, de Rafael Fernández Gómez et al. 2010, (p. 29)

2.2.16.2 Ventajas

- Puesto que la dosis de riego es sólo función del tiempo de cada riego, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- Al poder modificarse fácilmente la pluviometría, es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas, lo que permite conservar la fertilidad natural del suelo.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro. En el primer caso siempre que se dimensione para el cultivo más exigente. Dada la eventualidad de los riegos de socorro los sistemas que mejor se adaptan los son móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de acción como los cañones de riego).
- Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo cual es importante por la posibilidad de ahorrar agua, de ahí que se recomiende la aspersión cuando la dosis de riego sea inferior a 40 mm. Para riegos ligeros, los sistemas semifijos requieren mucha más mano de obra.
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra a costa, normalmente, de una mayor inversión.
- Evita la construcción de acequias y canales, aumentando la superficie útil a la vez que es más cómodo y de más fácil manejo que el riego por superficie.

- Es el método más eficaz para el lavado de sales por originar un movimiento de agua en el suelo en subsaturación, obligándola a circular por los poros más pequeños y, por tanto, está más en contacto con la solución del suelo. Como contrapartida está que la energía empleada en la aplicación encarece la operación.
- Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión, pero no pueden adaptarse al riego en bloques que consiguen mayor uniformidad y eficiencia de riego, ni a los riegos de alta frecuencia.
- En lugares donde se lo requiera y con sistemas móviles, se adapta a regar un año en un sitio y otro año en otro.
- Necesita mucha menos cantidad de agua que los riegos por superficie debido a su mayor eficiencia. Además, aunque requiere más técnica al montarlo, el manejo puede hacerlo cualquiera.

2.2.16.3 Desventajas

- Sus limitaciones se deben todo a fuertes vientos, pendientes excesivas y riego bajo o sobre árboles.
- Interferencias en los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias.
- Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o las impurezas de la misma.
- Mala uniformidad en el reparto por la acción de los vientos.

Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costos de mantenimiento y funcionamiento (energía). También hay que hacer reparaciones todos los años.

2.3 TIPOS DE INVERNADERO

Las estructuras de los invernaderos deben obedecer a cálculos de estática y resistencia, permitiendo instalar distintos equipamientos y soportar la sobrecarga producida por los cultivos suspendidos.

Las puertas estándar son tipo correderas de 1 o 2 hojas, aunque también se pueden suministrar puertas automáticas y especiales de grandes dimensiones.

Los Invernaderos permiten utilizar tanto cubiertas flexibles (film plástico, malla de sombreo, malla monofilamento, etc.) como rígidas (PVC, policarbonato, chapa metálica, etc.). El cristal también puede ser utilizado.

La ventilación en los Invernaderos se puede instalar tanto en techos como en frontales y laterales, con apertura manual o motorizada con posibilidad de automatizarse.

Los invernaderos son susceptibles de ser mejorados con diversos equipamientos o tecnificación, tales como: Mesas fijas, móviles, transportables, calefacción, Cooling-System, CO₂, FogSystem, pantallas térmicas, equipos de control climático y de fertirrigación, etc.

En los Invernaderos se recomienda contemplar todos los elementos de seguridad necesarios para poder realizar trabajos de mantenimiento en los techos de todos nuestros modelos de invernaderos, tales como: barandillas anti-pánico para colocar en las líneas de canalones exteriores, estructuras para “línea de vida”, cables y redes anticaída para los techos.

Si desea lograr buenos manejos, es fundamental contar con una instalación de riego por goteo que incluya un mecanismo para incorporar los fertilizantes⁷.

2.3.1 Las ventajas

- Altos rendimientos en la producción,
- Mejor calidad (tamaño, color, forma),
- Mejor sanidad e inocuidad de los cultivos (limpios, sanos).

Se puede hacer una clasificación según diferentes criterios (por ej., materiales para la construcción, tipo de material de cobertura característica, característica de la techumbre, etc.), no obstante, se prefiere enumerar los más importantes obviando algunas características para su clasificación.

⁷Marín, M. C, (2013). *Diseño de invernaderos*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2>.

2.3.2 Invernadero túnel

No existe un parámetro definido para establecer las diferencias entre lo que es un invernadero y un macro túnel. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. De acuerdo a diferentes opiniones, se puede definir como invernadero aquella estructura que supera los $2.75\text{-}3\text{m}^3/\text{m}^2$.

Figura 2.16. Invernadero Túnel



Fuente: plantfor.es 2016

2.3.2.1 Ventajas

- Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido).
- Alta transmisión de la luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

2.3.2.2 Desventajas

- Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.

Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.).

2.3.3 Invernadero capilla

Esta estructura es muy usada y es una de las estructuras más antiguas. La pendiente del techo (cambio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre

15 y 35 grados). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12m (incluso mayores), por largo variable.

Las alturas de los laterales varían entre 2, 0-2,5m y la de cumbre 3,0-3,5m (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables). Serrano Z. (2005). La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultades, tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías⁸.

Figura 2.17. Invernadero Capilla



Fuente: ecofisiohort 2014

2.3.3.1 Ventajas

- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales de bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucalipto, pino, etc.)

2.3.3.2 Desventajas

Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

- Problemas de ventilación con invernadero de baterías.
- A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.
- Mayor número de elementos que disminuyen la transmitancia (mayor sombreado).
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo.

⁸ Marín, M. C, (2013). *Diseño de invernaderos*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2>.

2.3.4 Invernadero en dientes de sierra

Esta estructura es una variación de los invernaderos capilla, se comenzaron a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación. Contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5 y 15 grados (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol-norte para el hemisferio sur). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como dientes de sierra. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos.

Figura 2.18. Invernadero de dientes de sierra



Fuente: hidroenv 2016

2.3.4.1 Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.
- Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).

2.3.4.2 Desventajas

- Sombreo mucho mayor que capilla (debido al mayor número de elementos estructurales de sostén).
- Menor volumen de aire encerrado (para igual altura de cenit) que el tipo capilla.

2.3.5 Invernadero con techumbre curva

Estos invernaderos provienen de los invernaderos túneles. Generalmente son metálicos (caños de 2" a 2.5" de diámetro o bien perfiles triangulares con hierro redondo trefilado de 8-10 m de diámetro), los hay con techumbre metálica y postes de madera. Dentro de

este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (i-e-circulares-semielíptico-medio punto-ojivales etc.). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0- 8,0 m de ancho por largo variable⁹.

Figura 2.19. Invernadero con techumbre



Fuente: hidroenv, 2016

2.3.5.1 Ventajas

- Junto con los invernaderos tipo túnel, es el de más alta transmitancia a la luz solar.
- Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).
- Buena resistencia frente a los vientos.
- Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamiento, laboreo mecanizado, conducción de cultivos, etc.)

2.3.5.2 Desventajas

- Tienen la misma limitante que el tipo capilla, cuando deben acoplarse en batería (al no poseer algún sistema de ventilación cenital).
- La limitante plantea la necesidad de no superar los 25-30m (de invernaderos acoplados), debido a las dificultades de ventilación.

⁹ Marín, M. C, (2013). *Diseño de invernaderos*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2>.

2.3.6 Invernadero tipo parral (almeriense)

Proviene de Almería (España), construido de palos y alambres, se denomina parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa.

Actualmente existe una versión moderada de los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, empleando postes para los laterales. Estos invernaderos suelen tener una altura a la cumbre de 3,0-3,5 m, la anchura es variable, pudiendo oscilar en 20 m o más, por largo variable. La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10° - 15° , lo que representa altura de los laterales del orden de 2,0-2,3 m; se ventila solamente a través de las aberturas laterales. En la techumbre solo se utiliza una doble entrada de alambre, por entre la cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción¹⁰.

Figura 2.20. Invernadero tipo Parral



Fuente: hidroenv, 2016

2.3.6.1 Ventajas

- Gran volumen de aire encerrado (buen comportamiento según inercia térmica).
- Despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la interceptación de la luz.
- Aun tratándose de una estructura que ofrece alta resistencia a los vientos, es poco vulnerable por el eficiente sistema de anclaje.

¹⁰ Marín, M. C, (2013). *Diseño de invernaderos*. Recuperado de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2>.

2.3.6.2 Desventajas

- Deficiente ventilación.
- Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).
- Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).
- En zonas de baja radiación, la escala pendiente del techo representa una baja captación de luz solar.

2.3.1 Invernadero tipo venlo (holandés)

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m. Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a la ventilación). En su lugar, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1,5m de largo por 0,8m de ancho.

Figura 2.21. Invernadero tipo Venlo (Holandés)



Fuente: hidroenv, 2016

2.3.1.1 Ventajas

- El mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales y materiales rígidos).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.

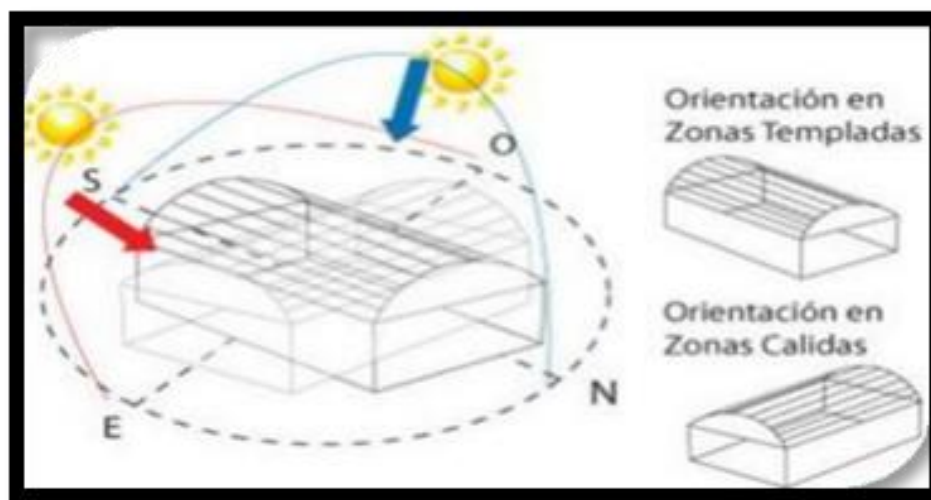
2.3.1.2 Desventajas

- Alto costo.
- La tramitación se ve afectada, no por el material de cobertura, sino por el número de elementos de sostén (debido al peso del material de cubierta).
- Al tratarse de un material rígido, con duración de varios años, resulta afectado por la transmisibilidad de polvo, algas, etc.

2.3.2 Orientación de invernaderos

Los productores prefieren la dirección norte-sur porque permite una distribución uniforme de la luz del sol. No obstante, algunas investigaciones recientes, sugieren que la mejor dirección depende de la latitud, por ejemplo, en zonas por encima de 40 grados de latitud será más apropiada con una orientación al norte-oeste. Hay que destacar, que los accesos al interior del invernadero deberán estar alejados de la zona donde se produzcan vientos dominantes en invierno para limitar la pérdida de calor producidos por el aire frío cada vez que se abran las puertas¹¹.

Figura 2.22. Orientación del invernadero



Fuente: hidroenviroment, 2016

¹¹ Rojas Cardona, O., Vaca Lozano, J. Z. y Vaca Lozano, Y. A. (2017). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para invernadero hidropónico*. Universidad Nacional abierta y a distancia (UNAD), Escuela de ciencias básicas tecnologías e ingenierías. (Tesis de grado). Mariquita, Colombia.

2.4 HIDROPONIA

Definido como la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, usando un medio inerte, al cual se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales vitales requeridos por la planta para su normal desarrollo¹².

Es una técnica de producción agrícola donde se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida re circulante en un sistema de tuberías en las cuales van insertas las plantas.

Figura 2.23. Sistema hidropónico en tuberías de P.V.C.



Fuente: <http://hidroponia.mx/cultivo-de-fresa-hidroponica/>

2.4.1 Introducción y origen

Hoy en día la hidroponía alrededor del mundo llama la atención por varias razones. A pesar de antiguo, este método de cultivar plantas es desconocido y viene a ser un centro de atracción para muchas personas que quieren cultivar sus vegetales frescos, sin preocuparse de excesos de fertilización, pesticidas, clima, problemas de la tierra, etc. Hay quienes quieren hacer dinero cultivando productos de mejor calidad para venderlos a precios más elevados en el mercado u otras que tratan de cultivar sus propios alimentos sin tener que pensar en la cantidad de espacio requerido; pero la gran mayoría quiere cultivar sus plantas en el menor espacio posible, en mayor cantidad y con mejor calidad.

¹² Alpízar Antillón, L., (2004). *Hidroponía cultivo sin tierra* (p. 13): 1ra edición. Cartago, Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.

Sin importar cuál sea la idea, la hidroponía ofrece una amplia variedad de sistemas de cultivo que se adapta a las necesidades de las distintas poblaciones alrededor del mundo. El concepto de hidroponía no es nuevo. Se tiene conocimiento de que los aztecas cultivaron en jardines flotantes; una de las, maravillas del mundo, tiene su base en la hidroponía para la nutrición de sus plantas. Se comienza en cultivos en agua, con lo cual se demostró que brindándole a la planta los elementos necesarios para su crecimiento, daba verdaderos resultados sin necesidad de la tierra¹³.

Empezaron por producir pequeñas cantidades donde se contaba con muy pocas tierras. Después de la segunda guerra mundial la armada de los Estados Unidos construyó 100 acres de enormes invernaderos en Japón para proveer a sus tropas con vegetales frescos. Las fincas hidropónicas operaron hasta mediados de los años 60.

Actualmente, en países desarrollados existe una gran cantidad de invernaderos dedicados a la producción de cultivos hidropónicos, a nivel comercial, que brindan a sus clientes la oportunidad de consumir un producto de un mejor sabor y una mejor calidad. La palabra hidroponía proviene del griego y significa “trabajo en agua”. El término significa cultivar plantas sin tierra, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios. En este sistema el agua acarrea los nutrientes hasta la raíz de la planta, esto hace que las raíces no tengan que desarrollarse tanto puesto que no tienen que recorrer espacios en busca de alimento como sucede con los cultivos en tierra.

Una descripción sencilla de la técnica hidropónica es:

Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

Por otro lado, se pronostica que el 70% de la población vivirá en zonas urbanas para el 2050. De esta manera la demanda de los productos agrícolas no será suficiente para satisfacer las grandes necesidades de estas zonas urbanas.

¹³ Alpízar Antillón, L., (2004). *Hidroponía cultivo sin tierra* (p. 3): 1ra edición. Cartago, Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.

La agricultura en la Ciudades, también tendrá beneficios importantes para la seguridad alimentaria, junto con las regiones rurales.

Para superar la escasez de tierra, agua y otros recursos relacionados, así como la contaminación biológica y abióticas, el alto costo de la mano de obra y los problemas de sequía, la hidroponía o cultivo sin suelo jugará un papel importante en la agricultura del futuro y resulta de un gran valor para los sistemas ecológicos.

Figura 2.24. Sistema de cultivo semi-hidropónico



Fuente: <http://hidroponia.org.mx/cultivo-hidroponico/ventajas-de-la-hidroponia/>

2.4.2 Ventajas de la hidroponía

- Reducción de costos de producción en forma considerable.
- No se depende de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas fuera de estación (temporada).
- Se requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción.
- Increíble ahorro de agua, pues se recicla.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- No se usa maquinaria agrícola (tractores, rastras, etc.).
- Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha.
- Cultivo libre de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Mayor precocidad de los cultivos.

- Posibilidad de automatización casi completa.
- Ayuda a eliminar parte de la contaminación.
- No provoca los riesgos de erosión que se presentan en la tierra.
- Soluciona el problema de producción en zonas áridas o frías.
- Se puede cultivar en ciudades.
- Se obtiene uniformidad en los cultivos.
- Permite ofrecer mejores precios en el mercado.
- Contribuye a la solución del problema de la conservación de los recursos.
- Es una técnica adaptable a los conocimientos, espacios y recursos.
- No se abona con materia orgánica.
- Se utilizan nutrientes naturales y limpios.
- Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o casi imposible.

CAPÍTULO III

AUTÓMATAS PROGRAMABLES

3.1 INTRODUCCIÓN

El control automático, como actualmente se conoce, tiene su primer antecedente en el Regulador de Watt, el famoso sistema que controlaba la velocidad de una turbina de vapor en el año 1774. A partir de aquel regulador, se desarrollaron innumerables aplicaciones prácticas.

Las industrias de procesos contiguos tuvieron sus primeras necesidades al requerir mantener las variables de proceso en un determinado rango, a fin de lograr los objetivos de diseño.

Las primeras industrias realizaban el control de las variables de forma manual, a través de operadores que visualizaban el estado del proceso mediante indicadores ubicados en las cañerías y/o recipientes y equipos.

El operador conocía el valor deseado de la variable a controlar, y en función del error tomaba acciones correctivas sobre un elemento final de control a fin de minimizarlo.

Por supuesto, el control manual era descentralizado. Cuando las plantas de producción crecieron y se tornaron más complejas, se requirió cada vez mayor cantidad de mano de obra.

El primer intento de reemplazar al hombre en las tareas de control se realizó a través de elementos mecánicos. Mecanismos como las válvulas de control de nivel a flotante permitieron al hombre dedicarse a estas tareas.

Sin embargo, el hecho de que el elemento mecánico de control estuviera ubicado directamente sobre el proceso, mantenía la obligación de ir al campo para conocer el verdadero estado de las variables, así como dejaba expuesto al medio ambiente a elementos de regulación delicados.

A medida que las plantas crecían, fue surgiendo la necesidad de tener más información en forma ordenada y accesible. De esta forma, comenzaron a aparecer los primeros tableros de control, muchas veces ubicados cerca de los equipos de proceso, y con

frecuencia transportando la variable a medir hasta el indicador instalado en el panel.

Las empresas que piensan en el futuro se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus máquinas y procesos de control. En la actualidad, las fábricas automatizadas deben proporcionar en sus sistemas: alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad. Una de las bases principales de dichas fábricas es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable (PLC).

Hoy en día, los Controladores Lógicos Programables son diseñados usando lo último en diseño de microprocesadores y circuitería electrónica, esto proporciona una mayor confiabilidad en su operación, así como también en las aplicaciones industriales donde existen peligros ambientales: alta repetitividad, elevadas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas, entre otros.

3.2 DEFINICIÓN DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos, un PLC–Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real.

Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.

3.3 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

3.3.1 Reseña histórica

Los PLC fueron introducidos a fines de los años 60. La razón de su aparición fue la necesidad de eliminar los complicados y costosos sistemas de control de máquinas basados en relés. Bedford Associates propuso algo llamado Controlador Modular Digital (MODICON) a la General Motors. Al mismo tiempo, otras compañías propusieron esquemas basados en computadoras, uno de los cuales fue PKP-8. El MODICOM 084 llegó a ser el primer PLC en producción a escala comercial.

Cuando hay cambios en los requerimientos de producción, éstos involucran al sistema de control. Estas modificaciones llegan a ser muy caras, si los cambios requeridos son frecuentes. Debido a que los relés son aparatos mecánicos, éstos tienen una vida limitada que obliga a apearse a estrictos programas de mantenimiento. El encontrar las fallas en uno de estos sistemas, es una tarea complicada cuando involucra una cantidad importante de relés.

Estos nuevos controladores debían ser fáciles de programar por los ingenieros de mantenimiento o de planta. También debían ser capaces de funcionar en los agresivos ambientes industriales. La forma de lograr esto fue usar técnicas de programación con las que los programadores estaban familiarizados y reemplazar los relés mecánicos con elementos electrónicos de estado sólido.

A mediados de los años 70 los PLC comenzaron a tener habilidades de comunicación.

El primer sistema de comunicación fue el MODBUS de MODICON. Ahora los controladores se pueden comunicar entre sí para coordinar el accionar de un conjunto de máquinas. También se les agregaron capacidades de transmitir y recibir voltajes variables que permiten recibir señales analógicas. Desdichadamente, la carencia de estandarización en estos sistemas, unido a los protocolos y redes físicas, originó la decadencia de su aplicación.

Durante los años 80 se apreció un intento por estandarizar las comunicaciones con el protocolo de automatización de manufactura de la General Motors (MAP).

Al mismo tiempo, se tendió a la miniaturización de los equipos y la utilización de

lenguajes simbólicos de programación en computadoras personales o programadoras portátiles.

Hoy en día los PLC más pequeños son de tamaño de un sólo relé.

En los 90 se ha visto una reducción gradual en la introducción de protocolos nuevos, además de modernización de las capas físicas de algunos de los protocolos más populares que sobrevivieron a los años 80. El último modelo ha tratado de reunir los lenguajes de los PLC bajo un estándar internacional único.

Ahora se cuenta con controladores programables con función de diagramas de bloques, lista de instrucciones, lenguajes de programación C o texto estructurado, todo al mismo tiempo. También se evidencia se están introduciendo computadoras personales para reemplazar en algunas aplicaciones específicas a los PLC. Tal es el caso de la General Motors, que ha llevado sus sistemas a control basado en computadoras.

3.3.2 Estructura básica de un PLC

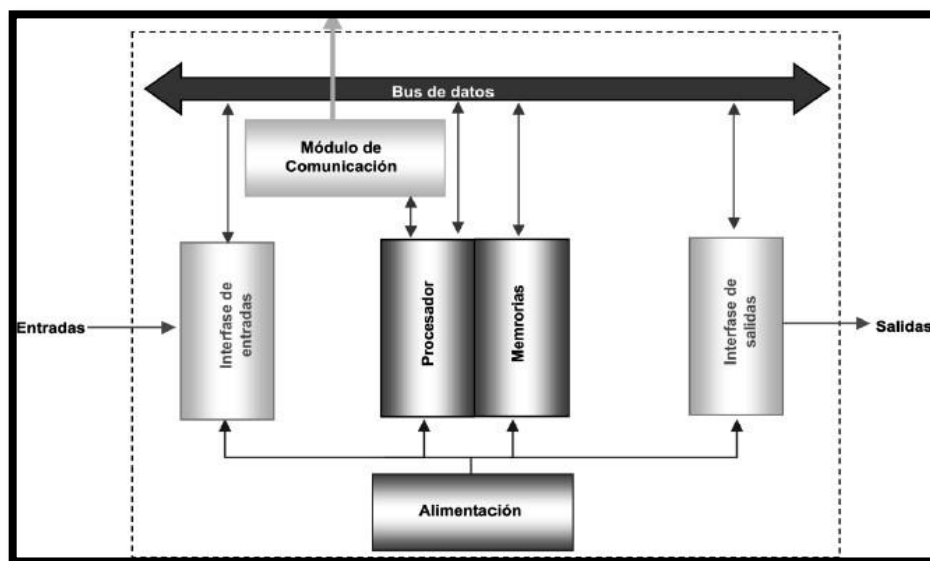
Los elementos esenciales, que todo autómatas programable posee como mínimo, son:

- Sección de entradas: Se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos tenemos unos rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas conectaremos los sensores y electroválvulas.
- Sección de salidas: Son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas conectaremos los actuadores.
- Unidad Central de Proceso (CPU): Se encarga de procesar el programa de usuario que le introduce. Para ello se dispone de diversas zonas de memoria, registros, e instrumentos de programa¹⁴.

Esta estructura se puede observar en la figura siguiente:

¹⁴ Brandley A., p. 3-4.

Figura 3.1. Estructura básica del PLC



Fuente: www.automatizacionplc.com

3.3.3 Entradas y salidas del PLC:

Generalmente se dispone de dos tipos de E/S:

- Digital: Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir o no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión.
- Analógica: Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Se basan en convertidores A/D Y D/A aislados del CPU.

3.4 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PLC

3.4.1 Procesador

Es el “cerebro” del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario.

Tareas Principales:

- Ejecutar el programa realizado por el usuario.
- Administrar la comunicación entre el dispositivo de programación y la memoria, y entre el microprocesador y los bornes de entrada/ salida.
- Ejecutar los programas de autodiagnósticos.

Para poder realizar todas estas tareas, el procesador necesita un programa escrito por el fabricante, llamado sistema operativo. Este programa no es accesible al usuario y se encuentra grabado en una memoria que no pierde la información ante la ausencia de alimentación, es decir, en una memoria no volátil.

3.4.2 Memoria

Los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas.

En las memorias, el PLC debe ser capaz de almacenar: Datos del Proceso:

- Señales de entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.
- Datos de Control
- Instrucciones de usuario, programa.
- Configuración del autómatas.

El sistema operativo, el programa de aplicación, las tablas o registros de entradas/salidas y los registros de variables o bits internos están asociados a distintos tipos de memoria.

3.5 CAMPOS DE APLICACIÓN

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en

que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Se conoce que no todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones obligan a referirse a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio¹⁵.

3.5.1 Ventajas

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos, debido a que no es necesario dibujar previamente el esquema de contactos, es preciso simplificar las ecuaciones lógicas, ya que por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores y distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio del tablero donde se instala el autómata programable.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento; Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

¹⁵ Brandley, A. (1996). *Controladores Programables*. (pp. 10-15). Estados Unidos: Rockwell International Corporation

3.5.2 Desventajas

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Esta capacitación puede ser tomada en distintos cursos, inclusive en universidades.
- El costo inicial.

3.6 FUNCIONES BÁSICAS DE UN PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

En la mayoría de los PLC (Autómata Programable o Controladores Lógicos Programables) el funcionamiento es de tipo cíclico y secuencial, es decir, que las operaciones tienen lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómata está bajo tensión.

Tiempo de Barrido o “Scan Time”

Es el tiempo que demanda al PLC completar un ciclo. A cada ciclo de tareas se lo denomina Barrido o Scan.

Una típica secuencia se detalla a continuación:

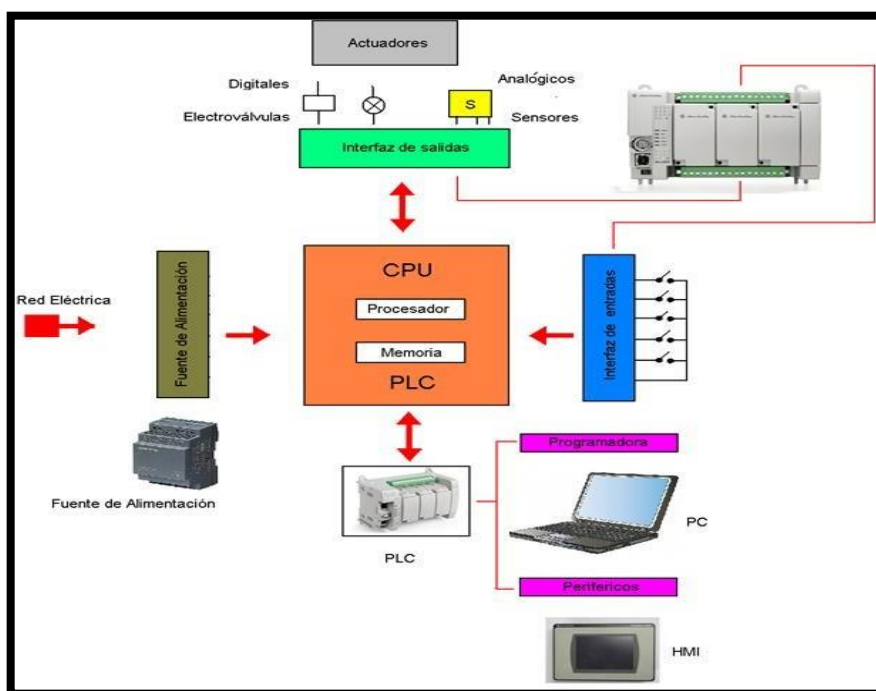
- Autodiagnóstico: el autodiagnóstico se realiza cuando el PLC es conectado a tensión y es una verificación de todos sus circuitos. Si existiera algún problema, el PLC emitiría alguna señal luminosa indicando el tipo de error que ha detectado.
- Lectura del registro de entradas y creación de una imagen de las entradas en la memoria: el PLC revisa cada entrada para determinar si está encendida o apagada (entrada binaria), graba estos estados en la memoria creando la imagen de las entradas para ser utilizada en el paso siguiente.
- Lectura y ejecución del programa: acudiendo a la imagen de las entradas y salidas en memoria, la CPU ejecuta el programa realizado por el usuario. La ejecución del programa se realiza instrucción por instrucción y en el orden en que se determinó. Como ya se ha revisado el estado de las entradas, el programa puede tomar decisiones basadas en los valores que fueron guardados. Las decisiones que adopta el programa, en última instancia, corresponden a los valores que van a tomar cada una de las salidas, estos valores son almacenados en registros para ser utilizados en la etapa final.
- Atención de las comunicaciones.

- Actualización del registro de salidas: renovación de todas las salidas, en forma simultánea, en función de la imagen de las mismas, obtenidas al final de la ejecución del programa.

Los fabricantes en general dan el tiempo de barrido para ejecutar 1K (1024) de instrucciones de lógica booleana. Sin embargo, al no estar normalizados el tipo de instrucciones a utilizar en el ensayo, el dato no alcanza para comparar distintos PLC.

Puede darse el caso de que un PLC ejecute un cierto tipo instrucciones más rápido que otro o viceversa. Para determinar en forma certera el tiempo de barrido se requiere la determinación del tiempo que le insume al procesador le ejecución de cada una de las instrucciones utilizadas, así como el tiempo consumido por las demás funciones que ejecuta la CPU.

Figura 3.2. Diagrama de Bloques



Fuente: www.plc.com

3.7 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN LADDER

En el programa se designan mediante direcciones los registros, los contadores, los temporizadores y las entradas y salidas. En los PLC pequeños, estas direcciones están asignadas por el fabricante, pero en los mayores, pueden ser definidas por el usuario, con mayor aprovechamiento de la memoria.

Los PLC's trabajan como todos los circuitos electrónicos únicamente con dos estados lógicos, ALTO y BAJO, ON y OFF, 1 y 0, etc., lo cual no es práctico desde el punto de vista de enlace hombre-máquina, por lo que se requiere de lenguajes de programación que traduzcan las ideas humanas a estados lógicos.

Los lenguajes de programación en sí, aunque normalizados en su parte básica, son tan variados como fabricantes de PLC's hay, así como también la manera de acceder a dichos controladores.

Pero, en general se puede hablar de cuatro grandes grupos de lenguajes de programación: DE ESCALERA, POR INSTRUCCIONES, POR FUNCIONES y POR PASOS.

3.7.1 Lenguaje de escalera (tipo nema)

Es el más conocido en el área de influencia norteamericana, ya que invariablemente todos los PLC's de fabricación americana o japonesa permiten su programación en este lenguaje; ya sea para emplear los mismos diagramas de control alambrado existentes en las máquinas que se reconvierten o, ya sea para capacitar fácilmente al personal de mantenimiento en el manejo y arreglo de estos aparatos.

3.7.2 Instrucciones o booleano

Es el tipo más poderoso de los lenguajes en cualquier marca de aparato, ya que es lo más cercano al lenguaje máquina y, puede hacer uso de particularidades de los mismos microprocesadores, y con ello hacer más rápido un programa o, más compacto.

3.7.3 Programación por funciones

Es el preferido por los Ingenieros europeos. Son los más matemáticos de los lenguajes, al requerirse manejo de tablas de verdad y simplificación de funciones lógicas booleanas para su empleo.

3.7.4 Programación por pasos (graphstep, graph5)

Este lenguaje fue inventado por ingenieros de la marca francesa Telemecanique, y posteriormente se convirtió en lenguaje estándar IEC, y son ahora muchos los fabricantes que tienen su propia versión.

Es en práctica un lenguaje más elevado que los anteriores al permitir con una simple instrucción hacer lo que en otros requería varias y complejas instrucciones, siempre y

cuando se pueda programar la operación de la máquina de manera secuencial.

Este lenguaje es muy apropiado para el manejo de posicionadores, alimentadores, y todo aparato cuyos movimientos mecánicos sean repetitivos¹⁶.

3.8 CONCEPTOS DE DIAGRAMAS DE ESCALERA APLICADOS A PLC'S

Los elementos principales son: contactos y bobinas.

Los contactos o condiciones pueden ser de: entradas digitales, salidas digitales, temporizadores, contadores o, marcas (también llamadas banderas o memorias internas, que son equivalentes a los relevadores auxiliares en tableros alambrados).

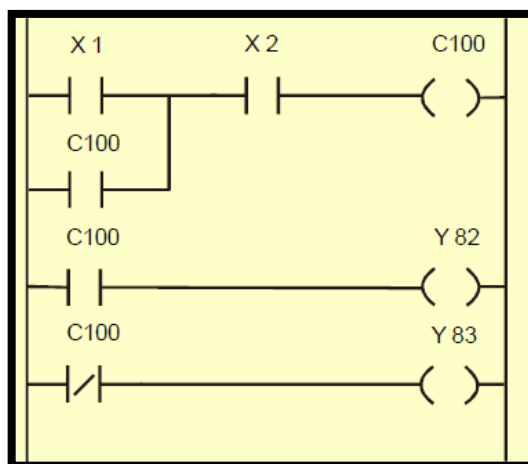
Lo que se llama "bobinas" es el resultado de la operación y "enciende" cuando las condiciones precedentes se cumplen, o en términos eléctricos, si existe un camino de contactos en serie cerrados.

3.8.1 Diagrama de escalera

Un diagrama de escalera es la representación gráfica en forma de diagramas de circuitos.

Similar a los esquemas de circuitos usados en control convencional. Además, existen dos tipos de bobinas: retentiva (tipo latch) y no retentiva.

Figura 3.3. Diagrama de escalera para PLC



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

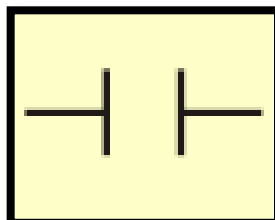
¹⁶ Brandley, A. (1996). *Controladores Programables*. (pp. 36-37). Estados Unidos: Rockwell International Corporation.

3.8.2 Contactos

3.8.2.1 Contacto normalmente abierto:

El símbolo del contacto normalmente abierto es:

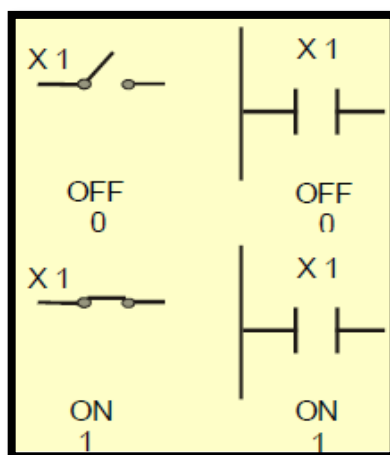
Figura 3.4. Símbolo del contacto normalmente abierto



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

Este tipo de contacto sigue el mismo estado del elemento de campo al cual está asociado.

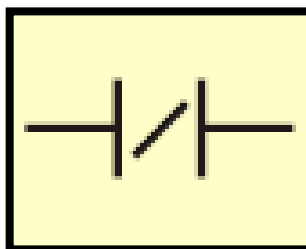
Figura 3.5. Estados de un contacto normalmente abierto



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

3.8.2.2 Contacto normalmente cerrado:

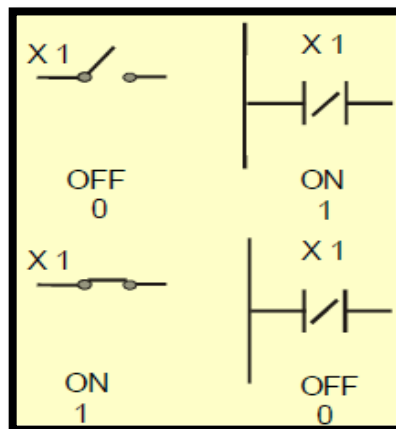
Figura 3.6. Símbolo del contacto normalmente cerrado



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

Este contacto refleja un estado contrario o inverso al estado del elemento de campo al que está asociado.

Figura 3.7. Estados de un contacto normalmente cerrado



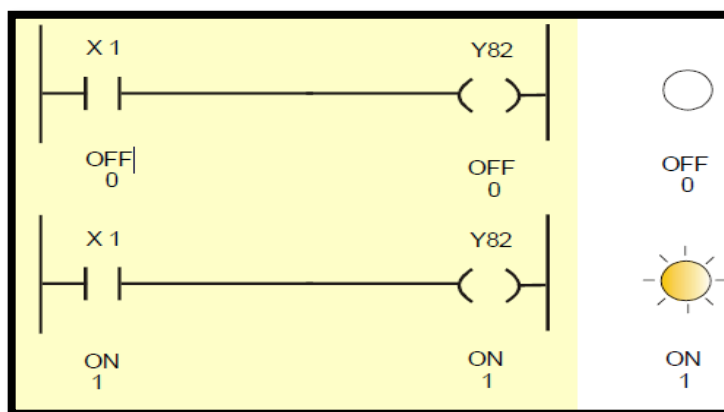
Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

3.8.3 Salidas

Las salidas, como su nombre lo indica, sirven para activar un dispositivo de salida o bien un contacto interno.

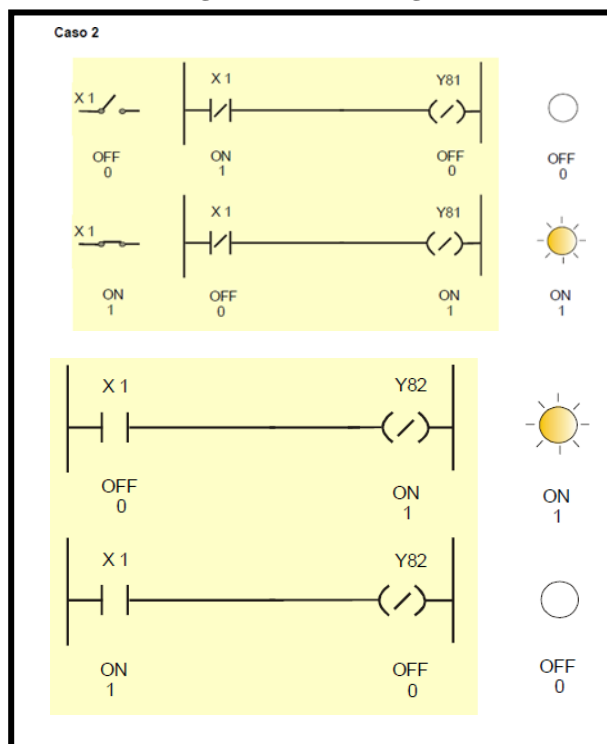
Se representan de la siguiente manera:

Figura 3.8. Salida normal



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

Figura 3.9. Salida negada



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

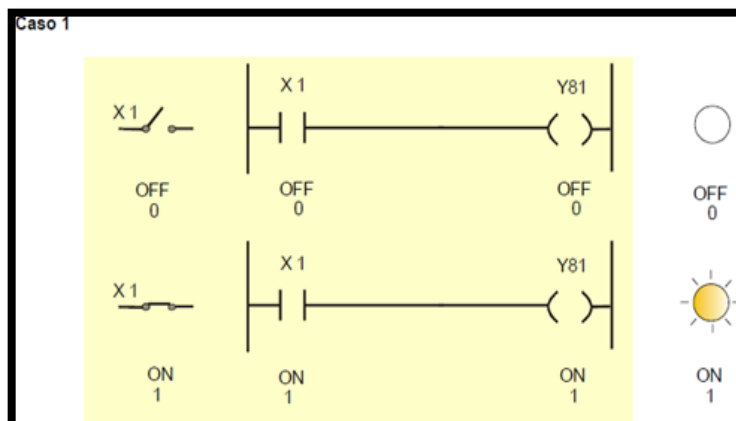
3.9 CONFIGURACIONES BÁSICAS

3.9.1 Acciones directas.

Cuando se activa la entrada (ON), la salida también se activa (ON).

Cuando se desactiva la entrada (OFF), la salida se desactiva también (OFF).

Figura 3.10. Acción directa

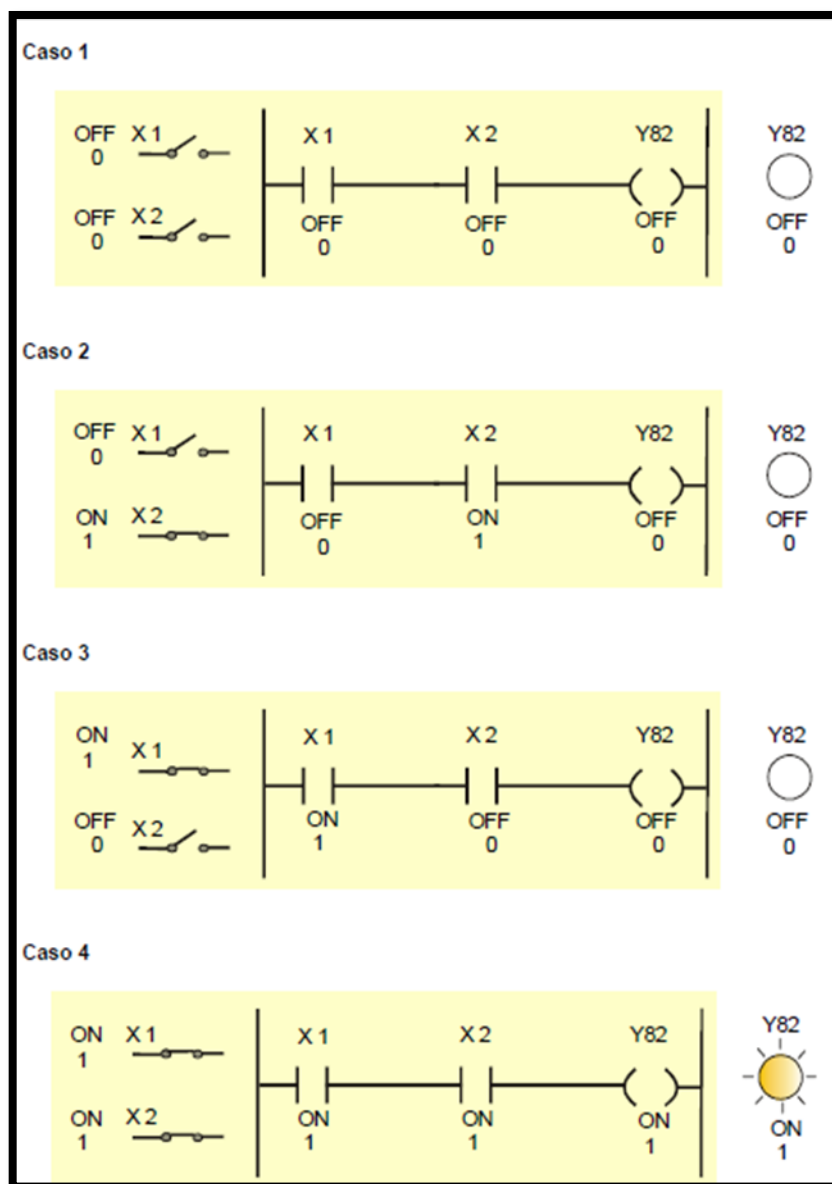


Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

3.9.2 Conexión en serie.

Es cuando se conectan dos o más contactos en serie, para que la salida tome el estado ON.

Figura 3.11. Conexión en serie

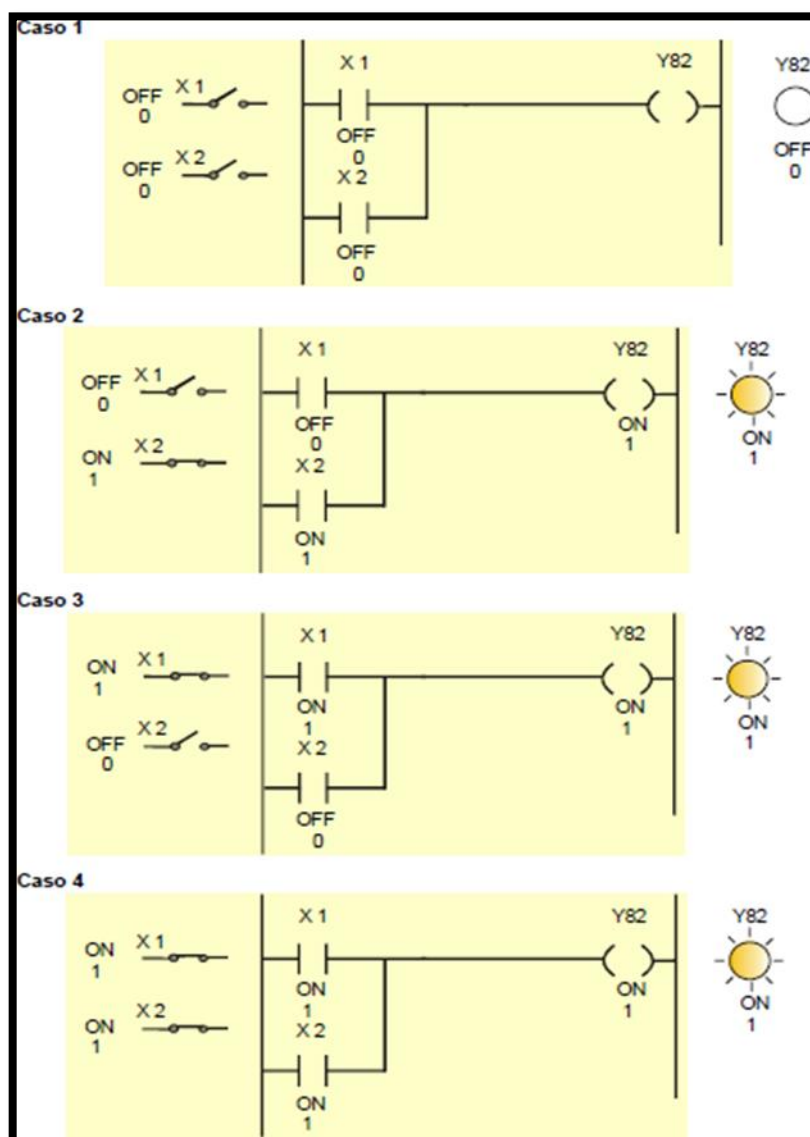


Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

3.9.3 Conexión en paralelo

Es cuando se conectan dos o más contactos en paralelo.

Figura 3.12. Conexión en paralelo



Fuente: Diagramas escalera para plc.ps-4313

3.10 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS RS-232

Las comunicaciones industriales con fines de automatización exigen un amplio conocimiento de los estándares de conexión local para equipos terminales que permitan la comunicación entre una computadora y sus periféricos, incluidos los sensores, actuadores y controladores lógicos programables.

Este tipo de comunicaciones brinda el escenario ideal para construir redes de baja cobertura y bajo costo, ya sea con conexiones de corriente o de tensión.

En los circuitos de conexión en serie por corriente o bucle de corriente se emplea esta característica para representar la información del sistema a través de un cable que una los equipos terminales emisor y receptor. Por otro lado, en los circuitos de conexión por tensión o bucle de tensión es esta señal eléctrica la que se emplea para representar la información a través del enlace establecido entre los dos conductores enlazados.

Bajo la lista de puertos y canales, después de seleccionar el canal, se puede seleccionar el protocolo a utilizar con el control de Función, que puede ser “Conexión modalidad de caracteres” o “Conexión MODBUS”. En función de la selección, la pestaña de “Configuración” mostrará un formulario con los parámetros configurables del protocolo escogido.

Tipo (Esclavo, Maestro). Selecciona el modo de MODBUS con que el PLC accederá al puerto serie. Hay que tener en cuenta que, en un momento dado, en una conexión o bus serie solo debe haber un dispositivo maestro.

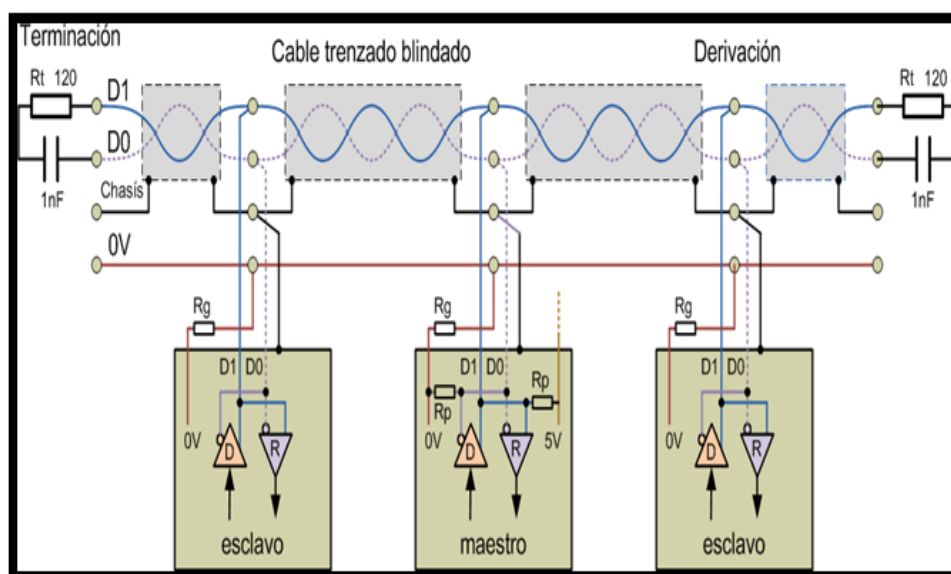
- Maestro: Número de reintentos (0-15). Disponible solo cuando el PLC se configura como maestro. Indica el número de intentos de transmisión a un esclavo antes de darlo como ausente en el bus. El valor 0 indica que no habrá reintentos.
- Maestro: Retardo de respuesta (10ms-10s, en pasos de 10ms). Disponible solo cuando el PLC se configura como maestro. Indica el tiempo transcurrido entre la petición inicial enviada por el maestro y un intento repetido de ésta en caso de que el esclavo no responda. Este tiempo debe ser como poco el máximo tiempo entre el envío del último carácter de una petición del maestro y la recepción del primer carácter de respuesta del esclavo. La longitud del cable afectará al tiempo mínimo que conviene escoger, debido al retardo de propagación de la señal.
- Esclavo: Número de esclavo (1-247). Disponible solo cuando el PLC se configura como esclavo. Indica la dirección del esclavo para MODBUS. En configuraciones multipunto (con un maestro y más de un esclavo) se usan las direcciones 1 a 247. El valor 248 se utiliza sólo para conexiones punto a punto (un maestro y un esclavo). Cada esclavo debe tener una dirección diferente al resto.
- Línea Física (RS-232, RS-485). Especifica qué tipo de líneas físicas del puerto serie se van a utilizar. Aunque el puerto serie de los M340 puede funcionar físicamente como

RS-232 o RS-485, no puede hacerlo simultáneamente, ya que solo dispone de un canal serie que debe ser configurado en uno de los dos modos.

3.10.1 CABLEADO DEL BUS RS-232

El estándar RS-232 define un bus para la transmisión serie multipunto, donde, en un instante, puede haber un equipo transmitiendo y varios recibiendo. La comunicación es semidúplex; de forma que un equipo puede enviar y recibir, pero no a la vez. El cableado básico consiste en un par de hilos de cobre trenzados sobre el que se transmite una señal diferencial para enviar los bits de datos, que es bastante inmune a las interferencias y admite largas distancias. Además del par trenzado para datos, pueden usarse líneas de 0V y 5V para alimentar dispositivos del bus. Los bits se transmiten mediante una trama.

Figura 3.13. Cableado de las interfaces en serie con RS-232



Fuente: Comunicación con RS-232 y MODBUS

3.11 SOFTWARE SCADA

3.11.1 INTRODUCCIÓN

Cuando cada fabricante se encontraba ante un problema de automatización, desarrollaba un elemento electrónico específico para solventarlo. Una memoria reducida era lo normal en estos elementos, por lo cual necesitaban comunicarse constantemente con sus sistemas de control centrales para enviar los datos. Incluían una serie de entradas y salidas fijas y utilizaban generalmente lenguajes de programación poco conocidos.

Por lo que, en los años setenta aparecen una nueva generación de autómatas de la mano de fabricantes de equipos eléctricos como Schneider Electric, Siemens, Square- D, o Allen-Bradley, que implementaron autómatas capaces de controlar grandes cantidades de entradas y salidas, ideales para industrias tales como la automotriz.

Resultado de esto fue la introducción del micro PLC, en los años ochenta que permitirán anexar controles modulares que se adaptaban a las necesidades del momento y venían provistos de sistemas de programación genéricos (ladder o escalera), lo que causó un éxito inmediato en todo el ámbito industrial.

Varios fabricantes desarrollaron entonces paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron así una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento.

La evolución de los sistemas operativos ha incrementado también las posibilidades de estos sistemas, permitiendo las estructuras multipuestas gracias a los sistemas de red informáticos.

En el mundo del Internet de las comunicaciones industriales ahora es posible conectarse con un sistema de control situado en cualquier lugar del mundo gracias a la tecnología Web-Server: un ordenador dotado de un explorador y la dirección IP (Internet Protocol), del sistema que queremos visualizar serán suficientes.

En referencia a la definición del sistema SCADA, se observa que no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de supervisión o monitorización, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión a un nivel superior.

- Completa funcionalidad de manejo y visualización en sistema operativo sobre cualquier computadora estándar.
- Arquitectura abierta donde permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, y deje a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas
- Instalación sencilla, hardware de fácil manejo y con interfaces amigables con el usuario.
- Integración con las herramientas ofimáticas y de producción.
- Capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa, es decir fácilmente escalable y configurable.
- Es independiente del sector y la tecnología.

- Funciones de mando y supervisión integradas.
- Las características para que su uso sea perfectamente aprovechado son los siguientes:
- Comunicaciones flexibles para poder contactarse con total facilidad y de forma transparente el usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).

La topología (su distribución física) de un sistema SCADA variará adecuándose a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionarán bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo, otros necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso, etc., para comunicación con bases de datos, lenguaje estándar integrado como VB (Visual Basic) o C, acceso a funciones y datos mediante API (Application Programming Interface; Interfaz de Programación de Aplicaciones.)

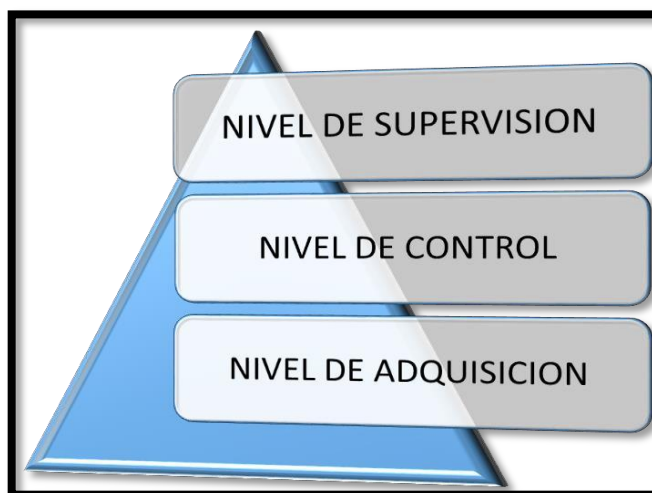
3.12 ELEMENTOS SCADA

Con el desarrollo de la computadora todo el control de la automatización del proceso se encuentra ahí mismo. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (SCADA).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU (Remote Terminal Unit o Unidades Remotas), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables, y un centro de control o Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores.

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos obedece generalmente a la estructura Maestro-Esclavo. La estación central se comunica con el resto de estaciones, requiriendo de éstas una serie de acciones o datos.

Figura 3.14. Diagrama estructural del sistema SCADA

Fuente: Elaboración Propia (Manual SCADA)

3.13 CONTROL CON SCADA

3.13.1 Monitorización

Consiste en la representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Por lo cual se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...etc.). de esta manera una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia.

3.13.2 Supervisión

Se refiere al mando, observación y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Además, tendrá la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Finalmente, evita una continua supervisión humana.

3.13.3 Observación del proceso mediante la adquisición de datos

Con la cual se logra la visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos). Por otro, se obtiene el reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias.

3.13.4 Mando

Los operadores tendrán la posibilidad de poder cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde la computadora (marcha, paro, modificación de parámetros...). puesto que se escriben datos sobre los elementos de control. Además, efectúa el registro y grabación de acciones o recetas.

En varios procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Por lo que este sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando.

3.13.4.1 Garantizar la seguridad de los datos

El envío y la recepción de datos, debe de estar suficientemente protegido de inserciones no deseadas, intencionadas o no intencionadas (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, etc.).

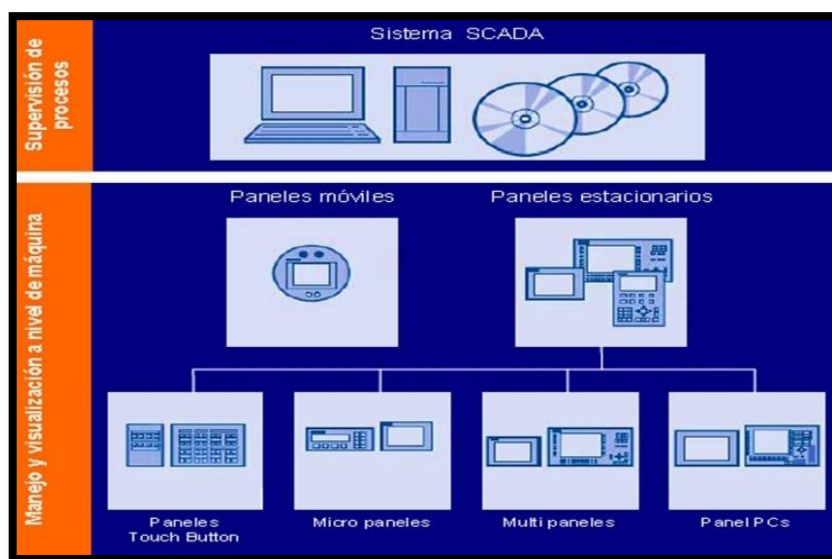
3.13.4.2 Garantizar la seguridad en los accesos

Registra todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador y restringe zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados

3.13.4.3 Viabilidad para programación numérica

Esto permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).

Figura 3.15. Proceso del sistema SCADA



Fuente: Elaboración Propia (Manual SCADA)

3.14 INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (H.M.I)

Comprende la función de un Panel Sinóptico (control y representación gráfica) que es la de representar, de forma simplificada el sistema en supervisión y control.

Los paneles sinópticos en principio eran de tipo estático, colocados en grandes paneles plagados de indicadores y luces. Posteriormente, han ido evolucionando, junto con el software, en forma de representaciones gráficas en pantallas de visualización. En los sistemas complejos suelen aparecer los terminales múltiples, que permiten la visualización, de forma simultánea, de varios sectores del sistema.

Lo importante es mantener la forma antigua del Panel Sinóptico, pues la representación del sistema completo es más clara para el usuario al tenerla presente y no le perjudique los eventuales fallos de controladores gráficos o alimentación de componentes.

Figura 3.16, Interfaz Hombre – Máquina



Fuente: Elaboración Propia (Manual SCADA)

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La aplicación práctica del prototipo se realizará en un invernadero ubicado en la Comunidad de Carlazo - Tarija.

El invernadero se encuentra ubicado:

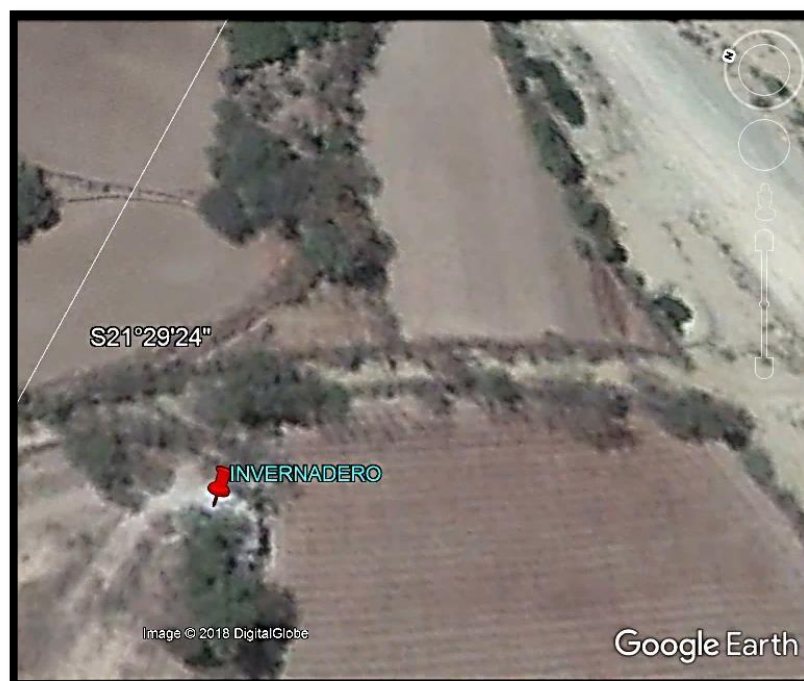
Latitud: $21^{\circ}29'28.21''$ S Longitud: $64^{\circ}29'54.67''$ O

Figura 4.1. Ubicación del emplazamiento del invernadero



Fuente: Google earth.pro

Figura 4.2. Coordenadas de la ubicación del invernadero en Carlazo-Tarija



Fuente: Google earth.pro

4.2 DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico consiste primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores edafológicos, climatológicos y otros propios del cultivo. Para iniciar el diseño agronómico se debe tener conocimiento de las condiciones topográficas, edafológicas, agronómicas, hidrológicas y climáticas de la zona de estudio.

El diseño agronómico contempla de forma general:

- Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos.
- Determinación de los parámetros de riego: datos medidos por los sensores de humedad.

La cantidad de agua que utilizan las plantas depende del clima, del contenido de agua en el suelo y la especie cultivada. La determinación y el monitoreo de la humedad del suelo es primordial para resolver problemas vinculados a las necesidades de riego de los cultivos. La programación del riego debe responder a dos preguntas básicas:

¿Cuándo regar? y ¿Cuánto regar? La respuesta a la primera pregunta es el intervalo de

riegos y tiene la finalidad de optimizar la producción, conservar el agua, minimizar impactos ambientales y ahorrar dinero. La segunda respuesta debe estar orientada a igualar los requerimientos de agua del cultivo y realizar los aportes en cantidades suficientes, buscando evitar: pérdidas excesivas, incrementos en consumo de energía, costos del agua, el lavado de los fertilizantes de la zona radicular y la capacidad del suelo para almacenar agua.

Los suelos poseen diferente capacidad para almacenar agua dependiendo de su textura y estructura. El límite superior de almacenamiento de agua se denomina capacidad de campo (CC), mientras que el límite inferior se denomina punto de marchitez permanente (PMP). La CC es el contenido de agua en el suelo, después de una lluvia intensa o la aplicación de un riego pesado, cuando la velocidad del drenaje cambia de rápida a lenta. El PMP se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo, haciendo que se marchite y muera sino se le proporciona agua. La cantidad de agua que puede ser absorbida por el cultivo se denomina “agua disponible para la planta” (ADP), que es la diferencia entre CC y PMP y regularmente se expresa como el porcentaje en volumen. Otro término muy utilizado es el déficit permitido en el manejo del riego (DPM), que es el contenido de agua en el suelo del cual no se debe permitir bajar. A menudo se expresa en porcentaje. El porcentaje recomendado para la mayoría de los cultivos es cercano a 50 y para cultivos sensibles a sequía de 25%.

Medición del agua en el suelo, ¿Cuándo regar? Para optimizar el consumo de agua y conseguir mejores rendimientos, es necesario hacer mediciones de la humedad del suelo en tiempo real. Al contar con la información necesaria se pueden regular las cantidades de agua a aplicar y paralelamente se pueden dosificar insumos agrícolas vía riego, lo que permitirá un ahorro económico.

4.3 DISEÑO HIDRÁULICO DEL PROTOTIPO

A continuación, procedemos a realizar el diseño de un sistema eficiente de riego tecnificado por aspersión en una parcela demostrativa, en base a las investigaciones y los estudios previamente realizados a este proyecto; para lo cual, se tomó en cuenta todos aquellos parámetros disponibles y requeridos del sistema.

Así, se ha considerado los fenómenos climatológicos naturales y las herramientas tecnológicas e informáticas que nos ofrece nuestra era, con el fin de aprovechar al máximo los recursos que nos permitan cumplir nuestro objetivo. Para poder calcular los parámetros requeridos del sistema, se agrupa en diversas tablas las características y datos reales disponibles.

Se tiene:

Tabla 4.1. Parámetros disponibles de diseño del prototipo

Parámetro	Descripción
Ubicación	Carlazo-Tarija
Clima	Caluroso-Templado
Tipo de suelo	Material vegetal
Tipo de cultivo	Frutilla
Forma del terreno	Cuadrado
Tipo de invernadero	Tipo Túnel
Sistema de riego a implementar	Por goteo
Operación del sistema	Automatizado
Disponibilidad de energía	Sí (eléctrica monofásica 110 V)
Fuente de agua	Tanque elevado (1.1 m ³)

Fuente: Elaboración Propia

Los componentes utilizados para la automatización de un sistema de tecnificado de riego por goteo son:

- Tanque elevado.
- Tubería de distribución.
- Controlador lógico programable (PLC).
- Interfaz hombre-máquina (HMI).
- Goteros.
- Accesorios.

Condiciones para su instalación:

- Cantidad apropiada de agua y regularidad del abastecimiento.
- El clima.
- Las propiedades físicas del suelo, infiltración y la capacidad de retención de agua.
- El costo y la disponibilidad de energía eléctrica.

Disposición del sistema: Para el trazado de los ramales laterales, se debe considerar:

- Extensión y forma del terreno.
- La longitud máxima de los ramales.
- La dirección de las hileras del cultivo a regar.
- La topografía del terreno.

Condiciones de instalación:

- Tuberías principales en la dirección de la pendiente principal.
- Ramales laterales perpendiculares.
- Deben evitarse ramales largos.

Para el diseño se debe tener en cuenta:

1. Cálculo de la dosis: Características del suelo y profundidad radicular.
2. Número de goteros:
 - La disposición de los goteros.
 - Los espacios entre goteros son de 0,30 cm.
 - Disposición de goteros en el cultivo.
3. Caudal del gotero y caudal total: El caudal total se calcula con el número de goteros por ramal y de la cantidad total de alas regadoras necesarias para regar las pantas.
4. Elección de los goteros en base a:
 - Presión de trabajo.
 - Caudal requerido por el gotero.

5. Coeficiente de uniformidad: Debe controlarse la distribución, para observar uniformidad en el riego. Es conveniente efectuar ensayos de medición y observar su distribución.
6. Diseño de ramales laterales:
 - La presión de trabajo en el ramal debe ser uniforme.
 - La diferencia de presión entre 2 goteros cualesquiera de un ramal, no debe ser mayor al 20 % de la presión de trabajo del gotero elegido.
 - El diámetro de las tuberías debe ser aquél que cumpla con las condiciones de las pérdidas.
7. Diseño de la tubería principal: Se calcula con el caudal y con las pérdidas por rozamiento y fricción y pérdidas por accesorios.

4.4 PROGRAMACIÓN LÓGICA DE LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización del riego se puede realizar considerando el tiempo de riego, que depende de las lecturas de los sensores de humedad, el volumen de agua a emplear o el agotamiento del agua en el suelo.

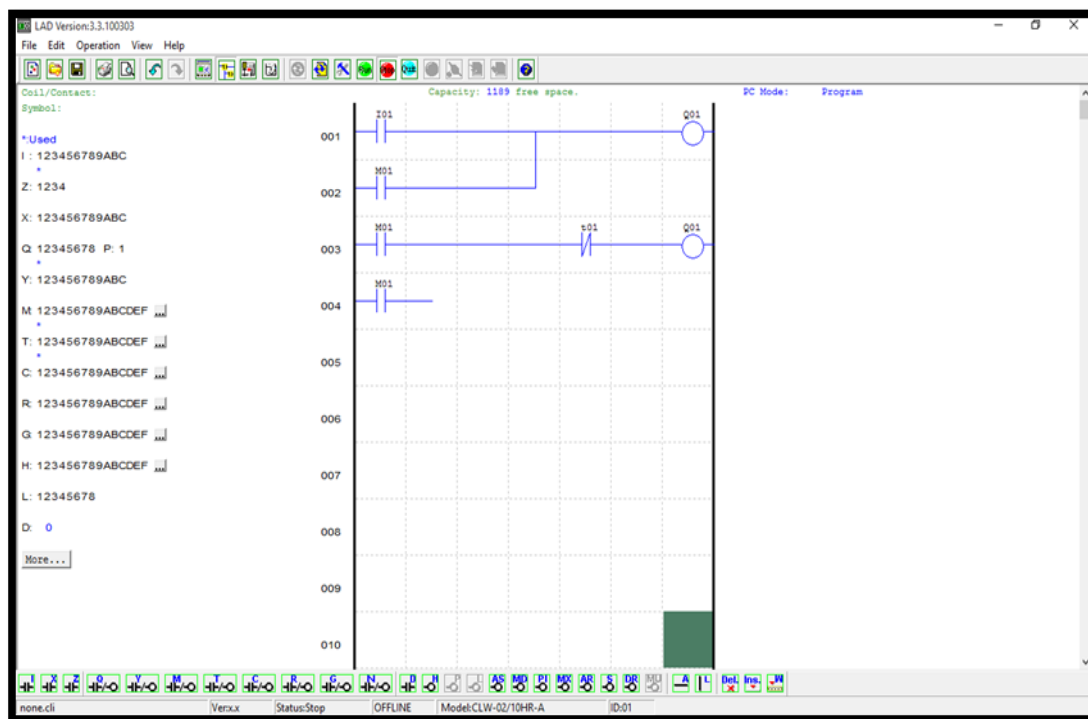
Los sistemas de automatización se basan en la determinación y programación de los datos mínimos de conductividad eléctrica registrada por los sensores, para que el sistema suministre el volumen de agua necesario para el adecuado estado de las plantas.

El cálculo del tiempo de riego se realiza en función de las necesidades de las plantas, el área mojada por los emisores y el caudal que éstos suministran; una vez que la conductividad eléctrica leída por los sensores sea 100 %, el riego se detiene automáticamente.

Para automatizar un riego por goteo se procede de la siguiente manera:

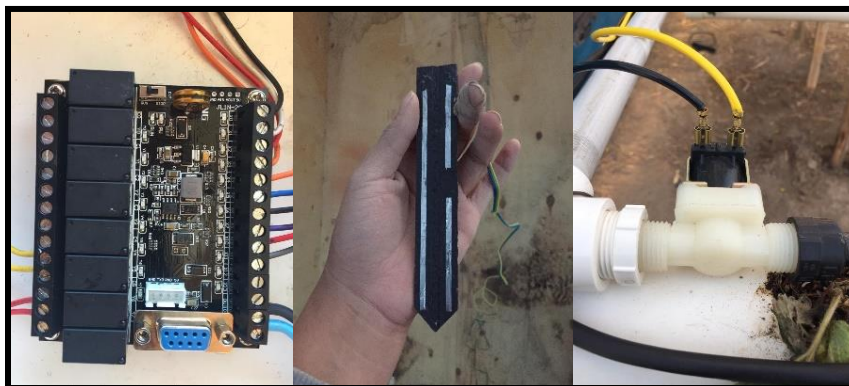
- Tener controlado el arranque y parada de las electroválvulas para poder programarlo y con algún mecanismo de seguridad básico, como aquellos que si hay ausencia de presión en la red (señal de alguna rotura).

Tabla 4.2. Componentes de la programación del lenguaje LADDER



Fuente. Elaboración propia

Figura 4.3 Componentes utilizados para la automatización de un sistema de riego.



Fuente. Elaboración propia

4.5 DISEÑO ELÉCTRICO Y DE PROGRAMACIÓN

En el presente documento se resume los pasos, directrices y componentes del proyecto en cuanto a la parte eléctrica se refiere; pues es primordial desarrollar el accionamiento o forma de operar del sistema de goteo.

Un mando manual el cual proporcionará al usuario la capacidad de operar el sistema cuando lo desee y un mando automático que realizará las tareas de riego de forma lógica,

de acuerdo al estudio agronómico y del requerimiento que el cultivo necesite, datos obtenidos en estudios previos.

Toma importancia el diseño hidráulico para la selección de los equipos de protección, como también para el conductor de la energía que alimentara todo el sistema eléctrico.

Este estudio describe el funcionamiento de los circuitos mencionados y cuál es la actuación/situación de los elementos que en ellos se encuentran. Los sistemas manual y automático son totalmente independientes en lo que se refiere al accionamiento de arranque y paro.

4.6 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

Figura 4.4. Software de programación del PLC

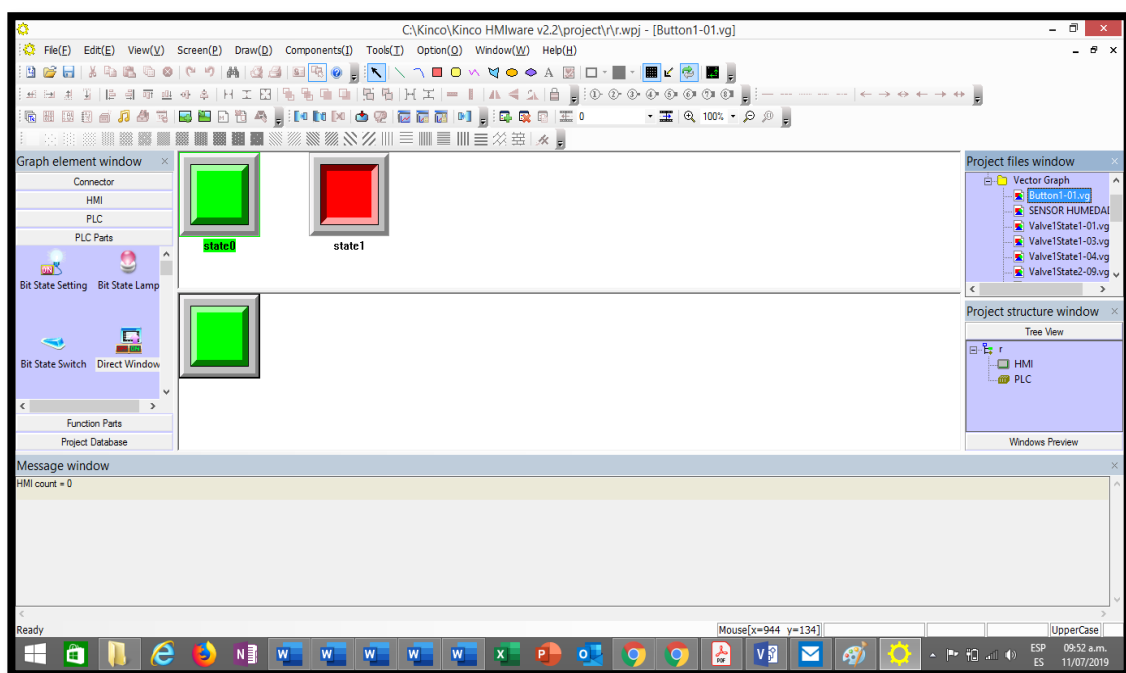


Figura 4.5. Selección del tipo de PLC que se va a utilizar de acuerdo a las características necesarias del proyecto

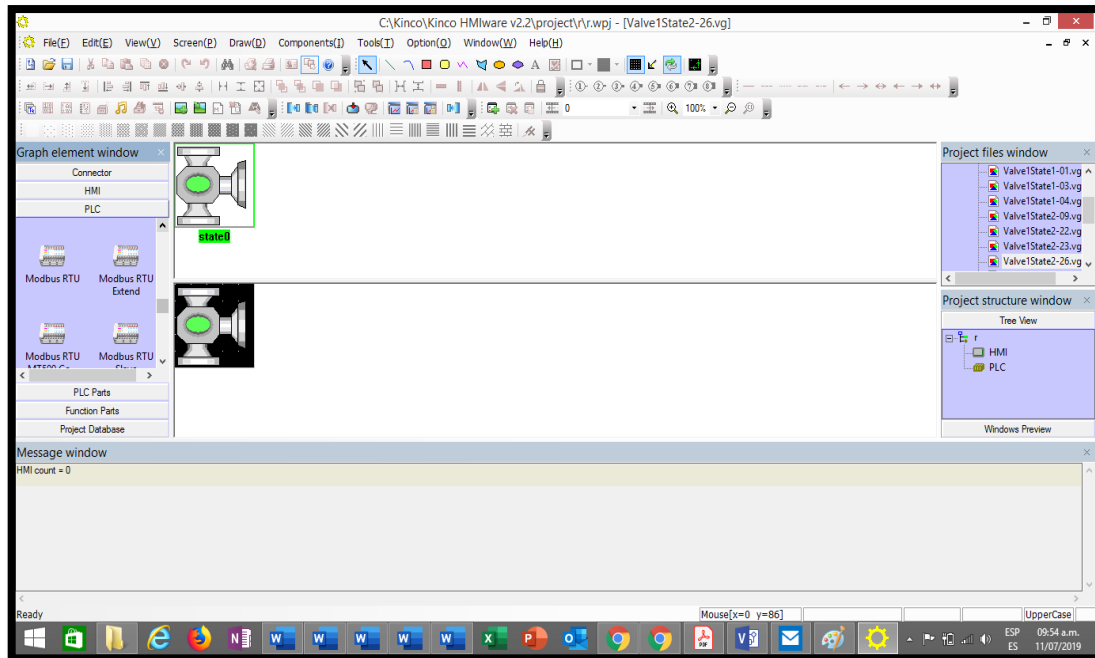


Figura 4.6. Utilizar el lenguaje de programación LADDER

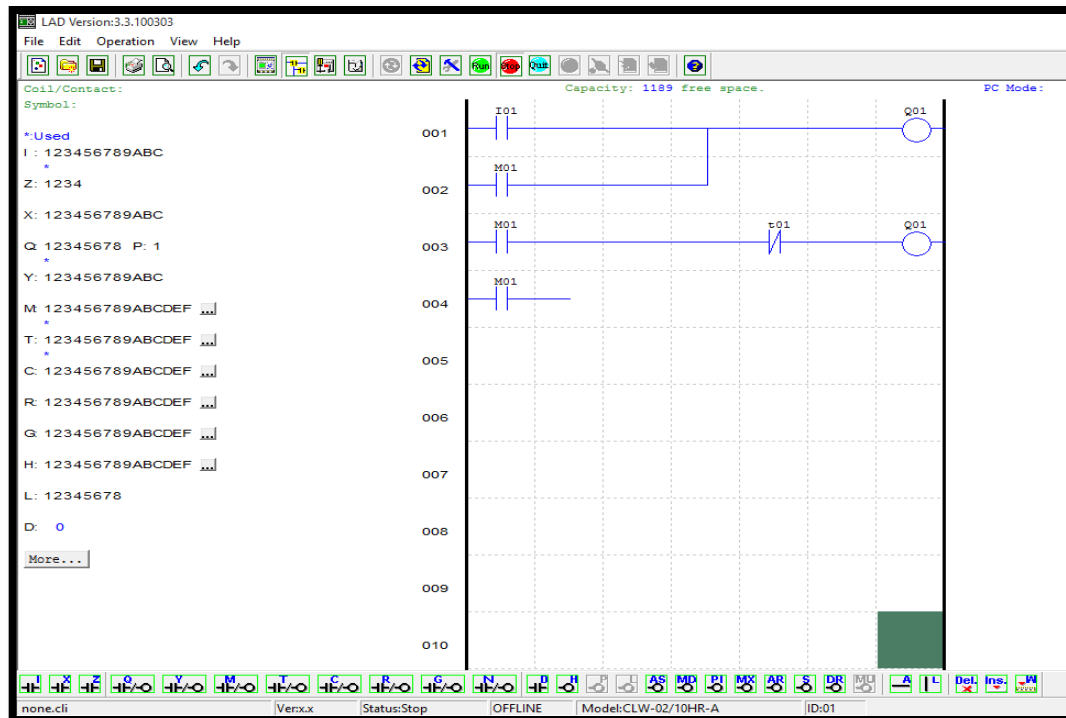
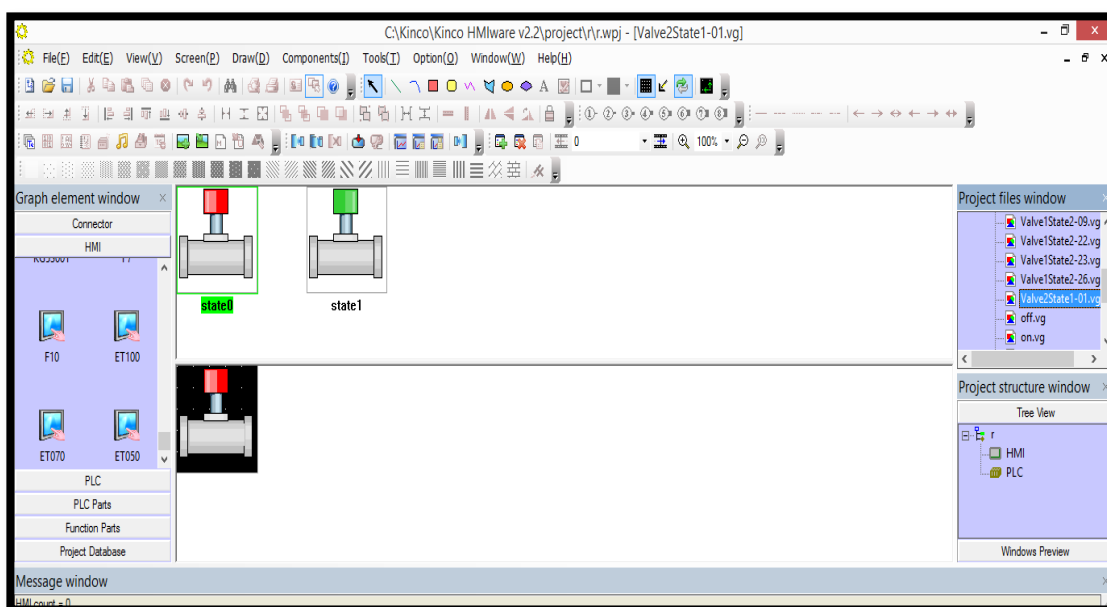


Figura 4.7. Verificar el proceso de programación en la pantalla digital del PLC



Se debe tener mucho cuidado en la instalación de las entradas y salidas del PLC, las cuales son analógicas y digitales.

4.7 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El indicador costo-beneficio, indica introducir el valor presente de todos los beneficios netos del proyecto y dividirlo por el valor presente de todos los costos del proyecto, la tasa de descuento será aquella que tenga el proyecto para su evaluación.

1. $B/C < 1$ Significa que los beneficios son menores a los costos y en consecuencia el proyecto no se debe realizar
2. $B/C = 1$ Significa que los beneficios son iguales a los costos, por lo tanto, se cumple la expectativa del proyecto y para el inversionista es indiferente hacer la inversión en este proyecto o seguir con sus inversiones normales.
3. $B/C > 1$ Significa que el valor presente de los ingresos son iguales a los egresos y en consecuencia es aconsejable realizar el proyecto.

La proyección de ventas es de 1,5 Kg de frutilla por cada planta en los 90 días de cultivo en el primer año de cultivo a un precio unitario de 22 bolivianos, cuya densidad de plantación es de 44.444 plantas por hectárea. ; teniendo en cuenta que el cultivo por planta de un sistema convencional no automatizado es de 1,0 Kg, en el primer año de cultivo; cuya densidad de plantación es de 55.000 plantas por hectárea; existe un aumento en la

producción del 50% debido a la automatización del sistema de riego. Por tanto, siempre y cuando se cumplan nuestras expectativas, teniendo en cuenta que la época de consumo de frutilla es de 3 meses al año, se realiza la siguiente proyección de costo-beneficio:

$$B/C = (11Bs/planta) / (0,20Bs/planta) = \mathbf{33,09}$$

- **Beneficio bruto (con automatización):** 1,5 kg/planta*22Bs*44.444plantas = **1.466.652 Bs.**
- **Beneficio bruto (sin automatización):** 1,0 kg/planta*22 Bs*55.000 plantas = **1.210.000Bs.**
- **Coste total (de la automatización) = 14.773 Bs.**

Por tanto, tenemos:

- **El beneficio neto de la producción sería = 1.466.652 Bs.– 14.773 Bs.= 1.451.879 Bs.**
- **El beneficio neto con relación a la automatización = 1.451.879 Bs.– 1.210.000 Bs.= 241.879 Bs**

Por cada año durante los 3 meses de cultivo, se obtiene una ganancia total de 241.879 Bs. con relación al cultivo de frutilla sin automatización.

Tabla 4.3. Presupuesto para la implementación de la automatización del invernadero

COSTOS DE APLICACIÓN DEL PROYECTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO TOTAL
			UNITARIO	
			(Bs.)	(Bs.)
HMI	pieza	1	1.780	1.780
PLC	pieza	1	6.935	6.935
SENSORES DE HUMEDAD	pieza	4	178	712
ELECTROVALVULAS 1/2	pieza	4	170	680
FUENTE DE 24 VOLTIOS	pieza	1	430	430
CAJA DE CENTRALIZADO	pieza	1	210	210
BOTONERAS	pieza	2	15	30
SELECTORES DE PERILLA	pieza	2	20	40
BOTON HONGO	pieza	1	57	57
CABLE NEGRO (tres líneas)	metro	30	4	120
CABLE AMARILLO	metro	30	4	120
CABLE DE COLORES (0,5mm)	metro	10	2,5	125
REGLETAS DE CONEXIÓN AWG8	pieza	2	17	34
COSTO DE PROGRAMACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN	global	1	3.500	3.500
TOTAL (Bs.)				14.773

El presupuesto esta dado para la implementación de un invernadero pequeño, pero los equipos de automatización sirven para automatizar hasta 100 hectáreas para cualquier tipo de cultivo.

Tabla 4.4. Componentes de rendimiento

Componentes de rendimiento	Fórmula de medición	Tipo de lechuga
Componentes de rendimiento (CR)	Fórmula de medición	Óptimo
Densidad de plantación	Nºplantas/ha	50.000 - 67.000
Carga frutal	Frutos/planta	25 - 45
Peso de fruto	Gramos fruto	30 - 50
Producción por planta	kg/planta	1 - 1,8
Porcentaje de producción primer período (60%)	kg/ha	36.000 - 69.000
Porcentaje de producción segundo período (40%)	kg/ha	24.000 - 46.000

Fuente: Manual de manejo agronómico de la frutilla 2017. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Fidel Oteiza 1956, Piso 11, Providencia, Santiago.

La cantidad de riego aplicado para un sistema de riego (no automatizado) fue de 4.137 m³/ha para una densidad de plantación de 55.000 plantas por hectárea; la automatización del prototipo tiene un como resultado una disminución en el volumen de agua utilizada en el riego, debido a que una planta de frutilla consume un volumen de agua de 75,22 litros durante toda su etapa de cultivo (sin automatización) y el consumo (con automatización) es de 39,31 litros durante toda su etapa de cultivo. Se evidencia que hay un ahorro de agua de 35,91 litros de agua; por tanto, existe un ahorro de agua del 47,74 %.

El conocimiento de la eficiencia del riego es un indicador de la cantidad de agua aprovechada por las plantas en relación con el total de agua aplicada mediante el riego. Además, cierto es que existen muy pocos valores medidos de eficiencia del riego en los cultivos de frutilla. Los valores que aparecen en la literatura de eficiencia en el riego localizado son meramente informativos, por tanto, deben tomarse con cautela a la hora de manejar el riego y, en todos los casos, deben ser contrastados en la realidad. Así, un valor objetivo de eficiencia del riego del 85% resulta difícil de alcanzar sin un manejo adecuado del mismo. Gavilán (2014) en un experimento realizado en la campaña 2012/13 midieron eficiencias de riego del 58, 67 y 83%, cuando se aplicaron riegos de 7.957, 6.876 y 5.610m³/ha, respectivamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En la actualidad el campo sigue siendo una de las principales áreas de oportunidad para mejorar sus procesos, a través de la implementación de innovaciones tecnológicas y así disminuir el consumo hídrico en la agricultura. Esta tecnología ha incrementado su aplicación, pues se la emplea con fines productivos e industriales, por lo que se espera que este proyecto ayude a popularizar aún más esta técnica.

Si bien esta propuesta de diseño es para baja producción, es fácilmente escalable para fines comerciales y de alta producción, para lo cual los componentes hidráulicos y mecánicos cambiarían, pero los componentes electrónicos permanecerían siendo prácticamente los mismos; por lo que sólo será necesario ajustar sus parámetros de diseño y funcionamiento.

El sistema de riego automatizado con el sistema de programación PLC puede ser aplicado con componentes accesibles en mercado local e implementado por agricultores.

De acuerdo a los resultados de la automatización del sistema de riego, existe un incremento en el cultivo del 50% y un ahorro de agua del 47,74 %.

El prototipo instalado generó mejor producción y rentabilidad, para el cultivo de buena calidad, debido a la sensibilidad del equipo y la calibración del mismo, ya que el sistema de riego es autónomo; de manera que el agricultor puede dedicarse a otras labores productivas.

Una persona con conocimientos básicos en hidráulica puede realizar la instalación, pero se necesitará una persona con conocimientos en programación de Microcontroladores para programar cada módulo.

5.2 RECOMENDACIONES

Se debe tener especial cuidado en la instalación del cableado en el PLC, el cual cuenta con entradas digitales y analógicas, las cuales tienen que ser instaladas de acuerdo al diseño y programación del PLC.

Ya que el funcionamiento del PLC es a base de una conexión eléctrica, ésta debe ser constante, por lo cual debe tener de respaldo una batería para así evitar que el equipo se apague y el proceso de automatización se detenga y cause pérdidas o daños en el cultivo.

Se debe revisar periódicamente los goteros para evitar que alguna obstrucción limite su funcionamiento, evitando que el agua llegue a la planta, causando daño permanente en la misma.

Todo el equipo eléctrico y el PLC debe estar resguardado en un lugar seco y cubierto, para evitar cualquier daño causado por la intemperie, garantizando de esa manera la vida útil del equipo.

Si bien con el proceso de automatización se disminuye el 100% de la intervención de la mano del hombre, por ende, disminuye las fuentes de trabajo, por eso se recomienda capacitar a las personas para que puedan realizar el mantenimiento y revisión de los dispositivos y equipos implementados.