

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

**Invernadero autosustentable automatizado
con un PLC S7-300 empleando el software TIA Portal**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

LICENCIADOS EN INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTA

KEILA CARDEÑA ALONSO

EDDY GERSAÍ TENORIO RUIZ

DIRECTOR **M. EN I. LUIS RENÉ SAGREDO HERNÁNDEZ**

CODIRECTORA **M. EN I. VERÓNICA OLVERA RODRÍGUEZ**

Ciudad de México, noviembre de 2025.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Agradecimientos y dedicatorias

A Dios, por su infinito amor, su guía y su fortaleza para concluir este grado académico.

A mi madre,
por su apoyo incondicional, su fuerza y paciencia que fueron fundamentos esenciales que
me permitieron superar los desafíos inherentes no solo en este proceso de investigación
sino a lo largo de la carrera.

A mi abuela,
por su amor incondicional, sus oraciones, sabiduría y cada consejo que me brindó en
cualquier circunstancia que me encontraba.

A ambas,
con todo mi corazón, dedico este trabajo, como muestra de gratitud por instruirme.

A mi madre,
por su apoyo y su presencia constante a lo largo de este camino académico. Le
agradezco profundamente cada sacrificio y cada palabra de aliento.

A mi abuelo,
por su inspiración y la pasión por el estudio que hizo crecer en mi.

A mi padre,
por sus consejos que permanecían en mi mente aun en los días de ausencia.

A ellos,
con todo mi cariño y respeto, dedico este trabajo, como muestra de gratitud por
haberme forjado.

Nuestra gratitud se extiende al personal académico que nos acompañó durante nuestra
trayectoria. Su dedicación, experiencia y compromiso fueron fundamentales en nuestra
formación académica.

“... Sea el nombre de Dios bendito por los siglos de los siglos, porque la sabiduría y el
poder son de Él.”
Daniel 2:20 [LBLA]

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento y limitaciones del problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos particulares	3
1.4. Antecedentes	3
1.4.1. Invernaderos Protegidos	3
1.5. Estado del arte	4
1.5.1. Automatización de invernaderos y empleo de agua pluvial	4
1.6. Metodología	7
1.6.1. Sistemas de captación de agua pluvial	8
1.6.2. Tratamiento de agua pluvial	8
1.6.3. Implementación del sistema	8
1.6.4. Resultados del tratamiento de agua	9
1.6.5. Automatización de los riegos con un PLC S7-300	9
1.6.6. Ventilación automática de un invernadero	9
2. Marco Teórico	10
2.1. Normatividad	10
2.1.1. Norma establecida en la calidad del agua para riego	10
2.1.2. Ley de desarrollo rural sustentable	11
2.2. Instrumentación	11
2.2.1. Sensores	11
2.2.2. Acondicionamiento de señales	13
2.2.3. Bombas de agua	14
2.2.4. Filtros de agua y sistema de esterilización	16
2.2.5. Instrumentos de medición	17
2.3. Dispositivos de protección y seguridad	18
2.3.1. Interruptores termomagnéticos	18
2.3.2. Contactores industriales	19
2.3.3. Relevadores bimetalicos	19
2.3.4. Relevadores	20
2.3.5. Conexión a tierra	20
2.4. Controladores Lógicos Programables (PLC)	21
2.4.1. Lenguajes de programación	22
2.4.2. Protocolo Maestro-Esclavo	25

3. Fundamentos del tratamiento de agua pluvial	26
3.1. Captación de agua	26
3.1.1. Métodos de captación	26
3.2. Diseño y construcción del sistema de captación	28
3.2.1. Canaletas, tubos y tanque de captación	28
3.3. Análisis químico del agua.	30
3.3.1. Análisis químico de agua potable y agua pluvial.	31
3.4. Tratamiento de agua pluvial	32
3.5. Resultados del análisis químico del agua tratada	33
4. Automatización del tratamiento de agua pluvial y riego del cultivo con el PLC S7-300	35
4.1. Automatización del tratamiento de agua pluvial	35
4.1.1. Arquitectura del sistema	35
4.1.2. Diagrama eléctrico y gabinetes de control	37
4.1.3. Diseño de la automatización	40
4.1.4. Programación en TIA Portal	41
4.2. Automatización de los riegos para cultivo de hortalizas de hoja verde . .	43
4.2.1. Requerimientos	43
4.2.2. Diseño de la automatización	44
4.2.3. Programación en TIA Portal	45
5. Automatización de la ventilación del invernadero con el PLC Shneider	47
5.1. Requerimientos y arquitectura del sistema	47
5.1.1. Temperatura óptima para la producción de hortalizas de hoja verde	47
5.1.2. Sensor de temperatura DS18B20	48
5.1.3. Registro de temperaturas en el invernadero	49
5.1.4. Instrumentación de las cortinas del invernadero	50
5.1.5. Instalación de ventiladores	51
5.2. Diseño de la automatización	52
5.2.1. Diagrama eléctrico y gabinete de control	52
5.2.2. Modo de operación Automático/Manual	54
5.3. Programación en TwidoSuite	55
5.3.1. Lenguaje de programación	57
6. Resultados	59
7. Conclusiones	63
8. Apéndice	65
8.1. Especificaciones	65
8.2. Programación de los PLCs	71
8.3. Presupuesto del sistemas de ventilación y del sistema de tratamiento de agua pluvial	76

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento y limitaciones del problema

Los problemas relacionados con los cultivos a campo abierto, como plagas o clima, contribuyeron a un aumento considerable de instalaciones de agricultura protegida en México durante el periodo de 1999-2004, donde se registró un aumento del 210 %.

Actualmente alrededor del 75 % de los invernaderos se encuentran en estado de abandono [1], donde los principales problemas que llevan a esto son la venta e instalación de invernaderos no ideales para las zonas en donde se quiere producir el cultivo y la falta de información, capacitación y experiencia que brindan las propias empresas, además de los costos de mantenimiento que pueden afectar principalmente a productores pequeños o en zonas rurales.

A nivel mundial, los productores han satisfecho la demanda efectiva del mercado en el pasado, y es muy probable que continúen haciéndolo. Pero la demanda efectiva no representa la necesidad total de alimentos y otros productos agrícolas, ya que centenares de millones de personas carecen de dinero para comprar lo que necesitan o de los recursos para producirlo ellos mismos [2].

Según recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONUAA) o más conocida como FAO (por sus siglas en inglés de *Food and Agriculture Organization*), en zonas rurales es necesario el desarrollo de la agricultura mediante el apoyo a la investigación, la extensión agrícola, la concesión y la creación de infraestructuras para generar al mismo tiempo otras formas de obtener ingresos. De no hacerlo, la inseguridad alimentaria a nivel local seguirá estando muy extendida, incluso en medio de la abundancia mundial.

México actualmente se encuentra muy lejos de los países líderes en la investigación y desarrollo de invernaderos como Italia, Estados Unidos, España, entre otros, por lo que es muy importante incursionar en este campo, ya que los beneficios alcanzables de la puesta en marcha de tecnologías que contribuyan al cultivo tendrán una importante relevancia en el futuro debido al crecimiento de la población mundial y por ende a la creciente demanda de suministros agrícolas que obliga a buscar más y mejores formas de producción y que a su vez sean eficientes en el aprovechamiento de recursos y capital de mantenimiento.

En el invernadero hidropónico que se ubica en el plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, se buscará minimizar los altos costos de producción haciendo uso de energías renovables como el agua pluvial y radiación solar, generando de manera autónoma las condiciones de riego y climáticas adecuadas para el cultivo a través de dispositivos controladores lógicos programables conocidos también como PLC (por sus siglas en inglés de *Programmable Logic Controller*).

Es importante considerar varios aspectos como la estacionalidad del año, que puede favorecer en el crecimiento de ciertos cultivos (primavera, verano u otoño). En la misma idea, también se deben considerar las variaciones climáticas durante los días de la semana (altas temperaturas en el día y su disminución durante la noche). Sin embargo, un aspecto que actualmente se ha convertido en una problemática es la disponibilidad del recurso hídrico. El cambio climático está provocando sequías en el territorio nacional, lo que provoca escasez de agua potable para las actividades que realiza el ser humano, como la agricultura, procesos industriales, uso doméstico, entre otros.

1.2. Justificación

En el año 2021 se llevó a cabo el **II Congreso Inversolar: Ideas bajo plástico** en Almería, España, donde se reunieron expertos nacionales e internacionales que informaron sobre los múltiples beneficios de la agricultura protegida, explicando que los invernaderos solares constituyen un modelo agrícola sostenible y eficiente, con un gran potencial para alimentar de forma saludable a una población en continuo crecimiento [3].

Además, agregaron que para el año 2050 se tendrá el reto de alimentar a más de 10 billones de personas en un entorno donde cada vez hay menos tierra cultivable y por lo tanto, una solución para este reto es hacer uso de la ciencia, la tecnología, la innovación y la cooperación internacional.

Es por esto que se propone el desarrollo de un invernadero hidropónico sustentable para ofrecer una alternativa a los altos costos de producción actuales en invernaderos tradicionales, y que en muchos casos se ven afectados por el limitado acceso a fuentes de capital y altos costos de energía. Otro aspecto es la mínima o nula asesoría técnica que se les ofrece a quienes optan por este método de producción. En este trabajo, se busca resolver esta problemática ofreciendo soluciones de automatización en todo el proceso del cultivo, enfocándose en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles para la producción de cultivos y su mantenimiento, reduciendo los costos por cultivo, además de contribuir en la reducción de la huella de carbono.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial, y automatizar el riego y la ventilación de un invernadero hidropónico.

1.3.2. Objetivos particulares

1. Diseñar e instalar un sistema de captación de agua pluvial.
2. Implementar un sistema de tratamiento de agua pluvial apto para el riego de cultivos con un PLC S7-300 de la marca Siemens.
3. Integrar la operación del tratamiento de agua pluvial a los tiempos de riego del cultivo mediante la programación del PLC S7-300 con el software TIA Portal.
4. Diseñar e implementar el sistema de ventilación del invernadero utilizando cortinas y ventiladores.
5. Automatizar el sistema de ventilación con un PLC de la marca Schneider, empleando lenguaje de escalera.
6. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de captación, tratamiento de agua pluvial y sistema de ventilación.

1.4. Antecedentes

1.4.1. Invernaderos Protegidos

Los primeros indicios acerca de la construcción de un invernadero se remontan a la primera mitad del siglo I, exactamente en el periodo del emperador Tiberio [4]. Según el historiador Plinio El Viejo, los doctores le recetaron al emperador el consumo diario de un fruto de la familia de las Cucurbitaceae y para lograr cultivar frutos como el melón y pepino pertenecientes a esta familia durante todo el año en su isla natal de Capri, Tiberio dirigió la construcción de una gran obra: "Hizo erguir unas plataformas hechas de marcos sobre ruedas, por medio de las cuales los frutos eran desplazados y expuestos al pleno calor del sol; mientras que, en invierno, eran retirados, y puestos bajo la protección de marcos 'vidriados' con piedra". (*Nancy Virts*, 2020), a estos primeros invernaderos se les conoció como *specularium*.

El siguiente avance en la innovación de invernaderos se produjo con la llegada de las naranjas a Europa a finales del siglo XV, donde las condiciones climáticas no permitían el crecimiento de estos árboles, por lo que fue necesaria la construcción de estructuras de madera y piedra llamadas "orangeries" que protegían a los cítricos de las bajas temperaturas (Figura 1.1). Este tipo de construcciones fue en aumento, alcanzando su mayor fama en el siglo XVII, donde el rey de Francia, Luis XIV, ordenó la construcción de un invernadero de 492 pies de largo y 42 pies de alto con ventanas dobles y paredes gruesas, en donde se cultivaron más de mil naranjos, plantas, verduras y hortalizas .

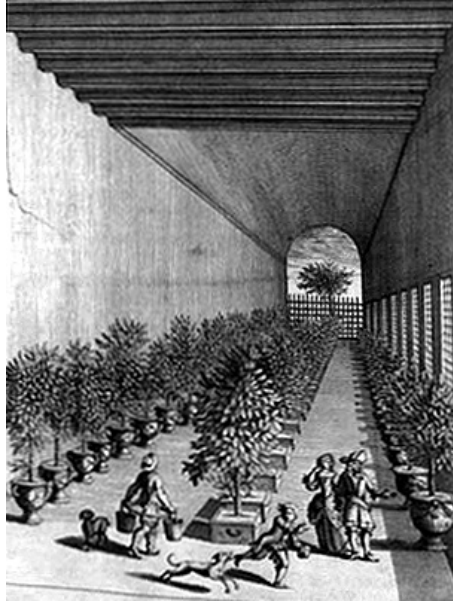


Figura 1.1: *Netherlandish Hesperides*, Amsterdam, 1676.

Esto siguió hasta la llegada del polietileno, que fue descubierto en 1898. Hasta que más tarde, en 1933, se fabricó por primera vez el polietileno de baja densidad, y fue hasta la década de los 50's cuando se mejoró el proceso de síntesis de polímeros que dieron vida a los plásticos que se usan hasta el día de hoy para la construcción de invernaderos [5]. Gracias a los invernaderos, al comercio internacional y la innovación, se ha logrado extender las temporadas de cultivo mediante la manipulación de variables que inciden en el crecimiento del cultivo, obteniendo cosechas durante todo el año.

1.5. Estado del arte

1.5.1. Automatización de invernaderos y empleo de agua pluvial

Se comprende como un sistema de automatización en un invernadero a los sistemas que se basan en el empleo de un ordenador central al que se conectan un conjunto de sensores que registran las fluctuaciones de distintas variables físicas, y en respuesta, este genera señales de comando hacia los actuadores del sistema.

Los sensores son distribuidos en diferentes zonas del interior del invernadero, para el conocimiento de variables como la temperatura, etc. Además, se pueden colocar tantos sensores de acuerdo al número de variables que se desean conocer. Los valores de las mediciones se recopilan y son comparados con los valores deseados añadidos inicialmente al programa del ordenador; con esto se determinan las acciones a llevar a cabo por los actuadores y se envían las órdenes a los distintos sectores [6]. Por ejemplo, al sistema de fertirriego y de regulación climática del invernadero.

En los últimos años se han iniciado en el país diversos proyectos para lograr una mejora en la producción de invernaderos y buscar elevar la calidad de la producción. Es así como estudiantes del Instituto Politécnico Nacional han trabajado en la implementación de μ Controladores Lógicos Programables como el de la marca Omron CP1L para la automatización de riegos y control de la temperatura. Además, realizaron un control para



Figura 1.2: Invernadero Automatizado con PLC - IPN, [8].

cortinas a base de servomotores, con una distribución descentralizada para los sensores y actuadores a través de un protocolo Profibus.

También alumnos de la ESIME Zacatenco, han desarrollado un invernadero hidropónico automatizado, construido en acrílico con el cual buscan aumentar la producción y consumo de vegetales orgánicos, es decir, libres de pesticidas e insecticidas (ver la Figura 1.2). En el invernadero se cuentan con sensores de temperatura, flujo de agua y humedad que son monitoreados a través de un microcontrolador de código abierto [7].

Por su parte, investigadores de la UNAM han incluido sistemas de automatización aplicados en invernaderos con los que se ha podido aumentar la producción anual, pasando de 225-350 toneladas a 380-450 toneladas por hectárea, es decir, mediante el control de variables físicas y nutricionales. Al regular la temperatura, radiación, pH, humedad relativa y fertirriego, es posible duplicar la cosecha. Más aún, si se añade la posibilidad de crear invernaderos totalmente autosustentables, significaría un gran avance en la meta de lograr satisfacer la demanda anual de productos agrícolas que requiere la población.

El primer modelo de invernadero inteligente, como se puede observar en la Figura 1.3, construido en el año 2016 en las instalaciones de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) ubicados en Tezoyuca, Morelos, por investigadores de la UNAM, Instituto de Biotecnología, Instituto de Ciencias Físicas (ICF) y de Investigaciones Biomédicas (IIBM), con el Colegio de Postgraduados (Colpos) y financiado a través del fondo Problemas Nacionales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), se logró un notable aumento en la producción de jitomate de primera calidad, además de disminuir su costo de \$ 7.6 pesos por kilo a \$ 4.29. El consumo de agua bajó de 30 a 14 litros, los tiempos de germinación se redujeron de 28 a 20 días y la carga química de fertilizantes de 300 gramos por kilogramo producido se redujo a 42 gramos por kilogramo cosechado. Además, con el control de las variables físicas se logró evadir la propagación de plagas evitando con esto el uso de plaguicidas, aportando en la conservación del medio ambiente [9].



Figura 1.3: Invernadero en Tezoyuca, Morelos - UNAM, [10].

A la fecha, aún es poca la información que se tiene sobre universidades que han empleado algún autómata o PLC de la marca Siemens para la automatización de invernaderos. Entre las instituciones que han realizado este tipo de proyectos se encuentra la Universidad Autónoma de Zacatecas en México, la Universidad de Valencia en España, donde se ha empleado el PLC S7-200 o la Universidad Tecnológica Equinoccial en Quito, Ecuador, donde se usó el modelo S7-300.

La gran mayoría de los sistemas de riego de los invernaderos actualmente son abastecidos a través de pozos de agua o sistemas convencionales de abastecimiento que pueden venir de fuentes de captación de aguas superficiales o aguas subterráneas. Los trabajos anteriores han hecho uso de estos sistemas de distribución en las zonas donde se instalaron los invernaderos. Algunos otros trabajos realizados, si bien no han estado enfocados en la automatización del propio invernadero, han hecho énfasis en la captación de agua pluvial para no depender de servicios públicos que pudieran o no existir en su zona y a su vez, que puedan servir como sistemas sustentables en cuanto a riego.

Uno de estos invernaderos con enfoque en agua pluvial fue realizado en 2015 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que construyó un invernadero de 500 metros cuadrados con altura para captar y conducir el agua de lluvia por medio de canaletas a una cisterna de almacenamiento con capacidad de 500 mil litros (Figura 1.4). En este proyecto, se implementó un sistema de riego por gravedad el cual consistió en un tanque de nivel regulado de 200 litros de capacidad, del que se desprenden tuberías, válvulas y otros accesorios que se unen a una cinta de riego por goteo [11].



Figura 1.4: Invernadero en el IMTA.

En el ámbito internacional, en Valparaíso, Chile, fue construido un invernadero automatizado por el Centro de Excelencia Internacional Fundación Wageningen, haciendo uso de tecnología holandesa.

En específico, en la provincia de Marga es donde se busca llevar a cabo la implementación de este tipo de invernaderos que buscan un uso racional y eficiente de los recursos naturales de agua y energía, generando mayor sustentabilidad, competitividad y productividad de los agricultores de la región. Además, se pretende prescindir de la tierra como sustrato, reemplazándolo con fibra de coco o lana de vidrio y con esto cuadruplicar la producción hortofrutícola de la región.

En Holanda, a pesar de ser un país pequeño que no cuenta con espacio ni energía, se mantiene la innovación en el campo energético y el uso eficiente de los recursos naturales, logrando ser uno de los grandes productores agrícolas, sobre todo en la agricultura protegida.

En la provincia de Almería, España, se encuentran más de 32 mil hectáreas de invernaderos respetuosos con el medio ambiente haciendo uso principalmente de la radiación solar. Estos invernaderos anualmente producen más de tres millones y medio de toneladas de frutas y hortalizas, exportando el 80 % a los mercados europeos. Facilitando el consumo de alimentos saludables a 500 millones de ciudadanos en épocas del año en las que la producción del continente se ve reducida por el rigor climático.

El sector representa casi el 40 % del producto interno bruto de la provincia, por lo que la investigación e innovación han sido parte fundamental en este logro, y donde la Universidad de Almería tiene un papel relevante.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura promueve la agricultura protegida sostenible como una herramienta para garantizar el derecho universal a la alimentación y un medio eficaz de adaptación al cambio climático [12].

1.6. Metodología

Se realizó una revisión en la literatura acerca del tema de sustentabilidad ecológica y tratamiento de agua pluvial para riego de cultivos con la finalidad de conocer su contexto y poder delimitar el tema de estudio.

Desde el enfoque de sustentabilidad ecológica y ambiental, se consideran los retos de la conservación del medio ambiente y los recursos naturales mencionados en el Informe Brundtland de 1987, atendiendo a la producción de alimentos orgánicos sin dejar de lado la protección de los suelos y los recursos naturales [13].

1.6.1. Sistemas de captación de agua pluvial

Con el objetivo de aprovechar los recursos naturales para la agricultura protegida, se realizó una investigación sobre los sistemas de captación y tratamiento de agua pluvial actuales. De acuerdo con [14], el uso de agua de lluvia es de gran relevancia, dado que los sistemas de captación son simples de implementar.

Para este apartado se hizo una indagación sobre los diferentes sistemas de captación de agua pluvial, los cuales pueden ser tanto para consumo humano como para el uso agrícola. Para este trabajo, la captación de agua pluvial, también llamada cosecha de agua, será proveniente del techo del invernadero; el cual tiene un diseño denominado a *Dos Aguas* y su área está definida por el tamaño del invernadero. Es importante tener en cuenta que se depende de la zona geográfica y clima, además de tener presente la variable de precipitación por día y estación del año. Para implementar el sistema de captación de agua se consideró tanto el sistema de conducción (canaletas, tubos y conectores) como el sistema de almacenamiento (tanque y tambos).

1.6.2. Tratamiento de agua pluvial

La principal variable que se consideró fue la cantidad de agua requerida para el riego del cultivo. Para esto, fue importante conocer los diferentes cultivos que se pueden llegar a realizar en el invernadero. Teniendo presente que cultivos como las acelgas y espinacas son plantas de poca agua, comparadas con cultivos como el jitomate que demandan más líquido en la etapa de fructificación y primera cosecha.

Para realizar el tratamiento de agua para riego, fue importante conocer la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 [15] y la Guía Técnica Para el Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura [16]. Estos documentos establecen los límites permisibles de características microbiológicas en el agua.

Además, para conocer las características fisicoquímicas del agua fue necesario realizar un análisis preliminar de las primeras lluvias en la zona. En la Ciudad de México, la temporada de lluvias abarca del mes de mayo al mes de octubre.

1.6.3. Implementación del sistema

Una vez conocidos los requerimientos físicos para la captación, conducción y almacenamiento del agua pluvial, se realizó la adquisición e instalación de los elementos que componen al sistema de captación (canaletas, tubos, conectores y tanque). Referente al tratamiento de agua pluvial, se implementó el sistema de filtrado y sistema de esterilización, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico del agua pluvial del tanque de captación.

Debido a que será un sistema de tratamiento de agua automático, se va a requerir de sistemas de bombeo de agua y los sensores correspondientes que darán información sobre

el estado de llenado del tanque de captación y tanque de agua tratada. Esto implicará un sistema de automatización con la instrumentación adecuada y el diseño e instalación del sistema eléctrico.

1.6.4. Resultados del tratamiento de agua

Los resultados se basaron en la elaboración de tablas comparativas sobre el análisis fisico-químico del agua antes y después de su tratamiento. Se realizaron pruebas básicas como pH, cloro residual, cloro total, dureza, alcalinidad total, cobre, hierro, plomo, nitrato, nitrito, carbonato, flúor, bromo, yodo, y ácido cianúrico. Con los resultados obtenidos se realizó la validación de los resultados con la(s) norma(s) correspondiente(s) sobre la calidad del agua establecida para riego de cultivos.

1.6.5. Automatización de los riegos con un PLC S7-300

Para garantizar la ejecución de riegos del cultivo, a través de un sistema de riego por goteo, se propuso un sistema de control industrial. Para cumplir con este objetivo, se implementó un PLC S7-300 de la marca Siemens. Este dispositivo cuenta con 16 entradas digitales (DI16) y 2 entradas analógicas (AI2-referenciadas), suficientes para conectar el número de sensores que darán información sobre el estado de los niveles de los tanques y el valor de temperatura al interior del invernadero. Respecto a las salidas digitales, el PLC puede activar/desactivar hasta un total de 16 actuadores.

La programación se realizó en el software TIA Portal, utilizando el lenguaje escalera (ladder) y el lenguaje secuencial Grafset.

1.6.6. Ventilación automática de un invernadero

Para garantizar una temperatura adecuada para el crecimiento de un cultivo al interior de un invernadero, se requiere conocer las características climáticas de la región. En [17] se hace un estudio sobre los valores de temperatura máximos y mínimos que se pueden obtener al interior de un pequeño invernadero en las estaciones de verano, otoño e invierno en la Ciudad de México.

Con esta información, será necesaria la instalación de ventiladores para los días calurosos y un sistema automático de enrollamiento de cortinas para mitigar el descenso de la temperatura en las noches frías y/o los fenómenos meteorológicos conocidos como heladas. En el mismo sentido, será adecuado conocer los tres puntos de temperatura importantes en el crecimiento de un cultivo: temperatura mínima, temperatura óptima y temperatura máxima [18]. Para realizar la ventilación automática se pretende implementar un gabinete de control empleando un PLC industrial de la marca Schneider para automatizar el encendido de los ventiladores y el movimiento de las cortinas.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Normatividad

2.1.1. Norma establecida en la calidad del agua para riego

Existen varias normas para la utilización del agua para riego como la NOM-001-SEMARNAT-2021 que se muestra en la Tabla 2.1, la NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, etc. Las cuales establecen la cantidad permisible de contaminantes en el agua (residual, pluvial, de acuíferos, etc.) para su uso en el riego, y el posterior consumo de los productos agrícolas.

LÍMITES PERMISIBLES									
Parámetros	Suelo								
	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I	P.M.	P.D.	V.I	P.M.	P.D.	V.I
Sólidos Suspendidos Totales (ppm)	30	36	42	100	120	140	50	100	200
Escherichia coli, (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Esterococos fecales* (NMP/100ml)	250	400	500	250	400	500	50	100	200

Tabla 2.1: Cumplimiento de los límites permisibles de la calidad de agua establecidos en la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.

Otra norma es la NOM-CCA-033-ECOL/1993, publicada en el Diario Oficial de la Federación el dieciocho de octubre de 1993, la cual establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano, municipal o de la mezcla de estas con los cuerpos de agua para el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

2.1.2. Ley de desarrollo rural sustentable

Esta ley, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001, principalmente promueve el desarrollo rural sustentable, con el objetivo de propiciar un medio ambiente adecuado y lograr elevar la calidad de vida de la población rural en el país, estableciendo sistemas, estructuras e instrumentos para añadir eficiencia y eficacia en el desarrollo rural a través de la Comisión Intersecretarial, el Consejo Mexicano, los Distritos Consejos Municipales y los Sistemas-Producto. Además, incorpora los sistemas nacionales de fomento a la empresa social rural.

Se destaca la necesidad de fondos presupuestales multianuales, incorpora medidas efectivas para incrementar la productividad y competitividad a través de la generación y transferencia de tecnologías mediante procedimientos de validación e información; el desarrollo de un mercado moderno con planificación, producción y su concreción del arbitraje a lo largo de las cadenas de producción. Además, proporciona medios para la conservación de las tierras y de los servicios ambientales, al defender el patrimonio y la biodiversidad de las comunidades y ejidos, y como consecuencia, una producción sustentable.

2.2. Instrumentación

La instrumentación ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual como la automatización de los procesos industriales; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que pueden medir o transmitir lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de control programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto [19].

La instrumentación industrial es el conjunto de componentes eléctricos diseñados para la medición y el control de los sistemas automatizados. En los sistemas de medida, la función de sensar o medir es la asignación objetiva y empírica de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento, de tal forma que la describa. Es decir, el resultado de la medida debe ser: independiente del observador (objetiva), basada en la experimentación (empírica), y de tal forma que exista una correspondencia entre las relaciones numéricas y las relaciones entre las propiedades descritas.

Los objetivos de medir pueden ser: la vigilancia o seguimiento de procesos, como es el caso de obtener la temperatura en el ambiente, de los contadores de gas y de agua, el control de un sistema, el control de nivel en un depósito, etc.

En un sentido amplio, la realización de medir implica, además de la adquisición de la información realizada por un elemento sensor o transductor, el procesamiento de dicha información y la presentación de resultados, de forma que puedan ser percibidos por nuestros sentidos. Cualquiera de estas funciones puede ser local o remota, implicando en el segundo caso, la necesidad de transmitir la información [20].

2.2.1. Sensores

Un sensor es un dispositivo para detectar y señalar una condición de cambio. Los sensores posibilitan la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición

y/o de control, utilizándose en todo tipo de procesos industriales y no industriales para propósitos de monitoreo, medición, control y procesamiento [19].

Para este proyecto se emplearon los siguientes elementos:

- **Sensores de nivel**, conocidos también como interruptores de nivel o de boya, son dispositivos que trabajan con un interruptor de contacto y un flotador magnético. Su funcionamiento está basado en el movimiento del flotador el cual abre o cierra el contacto eléctrico. Con estos sensores, es muy fácil lograr una automatización a bajo costo y con una versatilidad de uso. Pueden operar con voltajes de 100 V en DC a una corriente de 0.5 A.



Figura 2.1: Sensor de nivel.

- **Interruptores de final de carrera**, conocidos también como interruptores de límite o de posición, son dispositivos electromecánicos que trabajan mediante la detección precisa de posiciones y límites de movimiento [21], son sensores que necesitan interactuar con el objeto en movimiento para detectar su llegada a una determinada posición, cuando el objeto en movimiento alcanza el punto específico en el que está ubicado el final de carrera, el mecanismo se activa, cambiando la posición de los contactos eléctricos. Pueden operar con voltajes de 250 V en AC a 5.0 A o voltajes de 115 V en DC a 0.4 A.



Figura 2.2: Interruptor de final de carrera.

- **Sensores de temperatura**, conocidos también como sensores de calor o sondas de temperatura, son dispositivos diseñados para detectar magnitudes físicas y proporcionar el valor de la temperatura por medio de una señal eléctrica determinada.



Figura 2.3: Sensor de temperatura, modelo DS18B20.

Existen distintos tipos de sensores de temperatura, el empleado en este proyecto es el sensor digital de temperatura DS18B20 (Figura 2.3).

El sensor DS18B20 permite medir en un rango de -55°C a 125°C y se puede alimentar de 3 a 5 volts. Está sellado en un envoltorio en acero inoxidable para poder sumergirlo en líquidos o introducirlo en el sustrato de las plantas. Dado que es un sensor digital, la señal leída no se degrada debido a la distancia del cableado. Su configuración de comunicación es en modo 1-Wire con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y resolución de 12 bits.

Cada sensor tiene una dirección única de 64 bits establecida de fábrica, esta dirección sirve para identificar al dispositivo con el que se está comunicando, puesto que en un bus 1-wire pueden existir más de un dispositivo [22].

2.2.2. Acondicionamiento de señales

El acondicionamiento de señal es un proceso de adquisición de datos que se lleva a cabo mediante un instrumento llamado acondicionador de señal. Ese instrumento convierte un tipo de señal eléctrica o mecánica (señal de entrada) en otra señal que por lo regular es eléctrica (señal de salida). El objetivo consiste en amplificar la señal y/o convertirla en otro formato compatible con la siguiente etapa de adquisición de datos o de control de una máquina.

Los acondicionadores de señal, en un sentido amplio, son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, las siguientes: amplificación, filtrado, adaptación de impedancias y modulación o demodulación [20].

Convertidores

Los convertidores digital-analógico (D/A) y analógico-digital (A/D) son la interfaz entre el mundo real o analógico y el mundo de la computación o digital. Una señal analógica transmite información en función de su nivel de tensión o de intensidad, frecuencia u otras variables continuas. Una señal digital transmite la información mediante una serie de bits considerados como 1 ó 0 lógico.

El módulo utilizado en este proyecto es el convertidor DAC MCP4725 (Figura 2.4), que permite convertir señales digitales, a través del protocolo de comunicación I2C, en

señales analógicas. Se alimenta con voltajes que van desde 2.7 a 5.5 V. La señal analógica obtenida se basa en la ecuación:

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF} \times D_n}{4096},$$

lo cual permite obtener información analógica útil para controlar sistemas empleando tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry y/o Microcontroladores PIC, entre otros. Este módulo incorpora una memoria EEPROM que permite mantener el nivel de voltaje incluso después de un corte de alimentación.

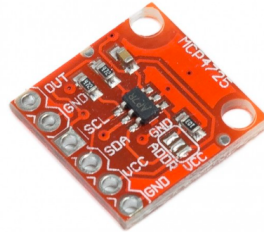


Figura 2.4: Módulo convertidor D/A MCP4725.

Arduino UNO

El Arduino UNO se basa en el microprocesador Microchip ATmega328p, con una resolución de 8 bits y su propio protocolo de comunicación para la programación. Este pequeño procesador cuenta con una memoria Flash de 32 KB, 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM. Tiene 13 líneas digitales I/O y 6 analógicas, y se puede alimentar en un rango de 7-12 voltios.

Parte de lo que hace que Arduino Uno sea tan accesible es el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino de código abierto. El IDE de Arduino también tiene una biblioteca comunitaria asociada que permite a los usuarios encontrar marcos de trabajo para programas que se ajusten mejor a sus necesidades. La biblioteca permite a los programadores más experimentados publicar sus proyectos e ideas. [58].

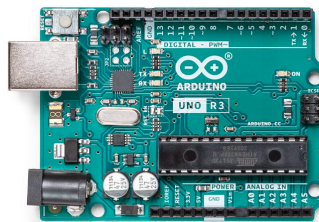


Figura 2.5: Tarjeta de desarrollo Arduino UNO.

2.2.3. Bombas de agua

Una bomba de agua es una máquina que está diseñada para transformar la energía eléctrica en movimiento, compuesta usualmente por un motor eléctrico y una parte

hidráulica [26]. Las bombas sirven para transportar elementos líquidos de una ubicación a otra, facilitando el transporte del fluido a través de tuberías y su distribución a diferentes áreas.

Las bombas de agua utilizadas en este proyecto son:

- **Bomba de agua periférica**, conocida también como bomba tipo turbina, de tipo vértice o regenerativa. Este tipo de bomba funciona produciendo remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades y presiones altas, dentro del canal anular donde gira el impulsor [27]. Las bombas empleadas son de 1/2 Hp y se alimentan a 127 volts en AC. En condiciones ideales logran caudales máximos de agua de hasta 30 L/min.



Figura 2.6: Bomba de agua periférica de 1/2 Hp.

- **Bomba sumergible**, es un tipo de bomba que tiene un motor herméticamente sellado, acoplado al cuerpo de la bomba, debido a que se sumerge completamente en el líquido a bombear. Un efecto positivo es que el motor es enfriado por el líquido en el que se encuentra inmersa evitando el sobrecalentamiento [28]. La bomba empleada es de 6 watts, se alimenta con 12 Volts en DC y consume una corriente de 0.5 A. La hoja de especificaciones indica que su caudal es de 300 L/hora.



Figura 2.7: Bomba de agua de la marca *WATER PUMP*, modelo HC-010.

- **Bomba peristáltica**, es un tipo de bomba que permite el desplazamiento de diversos fluidos contenidos dentro de una manguera flexible instalada dentro de la estructura circular de la bomba. Por medio de un par de rodillos o zapatas que comprimen la manguera y mediante un movimiento rotacional van desplazando el fluido en el interior de la manguera hacia la salida de la bomba. [29]. La bomba empleada se alimenta con 12 volts y consume 0.5 A. El tubo es de silicón con un diámetro de 3-5 mm y puede lograr un caudal ≥ 50 mL/min.



Figura 2.8: Bomba peristáltica.

2.2.4. Filtros de agua y sistema de esterilización

Un filtro de agua es un dispositivo que ayuda a retener y eliminar las impurezas del agua, permitiendo mejorar su calidad. Existen distintos tipos de sistemas de filtrado como el de *Sedimentos* (diferentes micras), el filtro de *Carbón activado*, el de *Luz ultravioleta* o los más sofisticados como el de *Ósmosis inversa* [30].

Para este proyecto se emplearon los siguientes filtros:

- **Filtro de Sedimentos para el lixiviado**, utiliza un cartucho de tipo plisado (en forma de acordeón, como se muestra en la Figura 2.9) ensamblado con láminas delgadas de medios filtrantes como poliéster o polipropileno, tiene un tamaño de $2,5 \times 10$ pulgadas con capacidad de retención de sólidos suspendidos de 20 micras.



Figura 2.9: Filtro de sedimentos.

- **Sistema de esterilización**, también se le conoce como *Sistema de Purificación* (Figura 2.10) y se compone de tres etapas:
 1. Filtro de Sedimentos. Contiene un filtro con cartucho tipo plisado de 15 micras para retener sólidos suspendidos mediante filtrado mecánico
 2. Filtro de Carbón activado. Su cartucho cuenta con el carbón como elemento principal que elimina el cloro, así como contaminantes químicos, herbicidas, pesticidas y materia orgánica.
 3. Luz ultravioleta. Tiene una lámpara de luz Ultra Violeta (UV) germicida con una potencia de $30,000 \text{ microwatts/seg/cm}^2$, con longitud de onda bactericida de 254 nanómetros, y cámara de cristal de cuarzo de alta pureza. Elimina microorganismos patógenos como bacterias, virus, hongos, algas y parásitos.

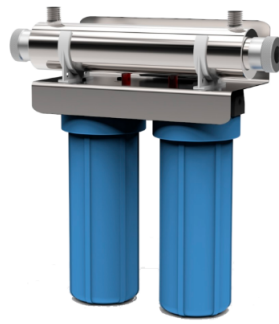


Figura 2.10: Sistema de esterilización de agua.

2.2.5. Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición poseen una o varias escalas de medida determinadas, se encargan de capturar los datos de diversas variables para conocer la magnitud de diferentes objetos, fenómenos o sustancias y así poder realizar una supervisión y tener un control de estas. Algunas requieren de un constante monitoreo para la seguridad personal, control de los procesos, optimización de recursos, entre otras [32].

A continuación, se describen los instrumentos utilizados en este proyecto:

- **Sistema de monitoreo de la calidad de agua por comparación.** En este sistema se utilizan tiras reactivas para conocer el valor de diferentes parámetros. Las tiras son de papel impregnadas de una mezcla de indicadores que cambian de color al sumergirla en la muestra del líquido. Por lo regular, se realiza en un tubo de ensayo [33], y las tiras solo se puede utilizar una vez. Después de un momento los indicadores cambian de color, el usuario compara los colores resultantes de la tira con una tabla de colores e identifica el color que más se aproxime para saber el nivel de concentración de cada parámetro. En la siguiente figura se logra observar las 16 mediciones que se pueden realizar.

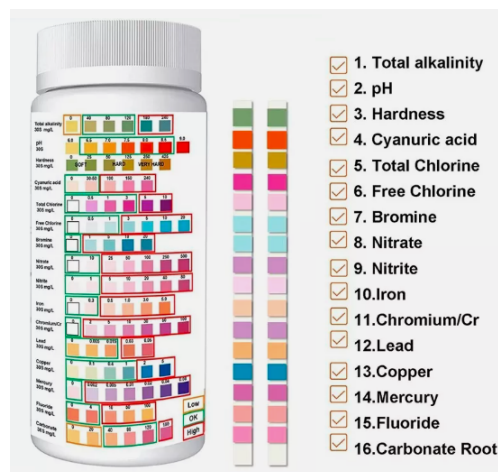


Figura 2.11: Tiras reactivas para prueba de calidad del agua de la marca NRUTTBDCU.

- **Medidor de calidad de agua electrónico.** El principal parámetro que mide es el pH del agua, utilizando un método electro-químico para indicar el grado de acidez



Figura 2.12: Medidor electrónico de la calidad del agua modelo EZ-9909SP.

o alcalinidad de soluciones acuosas. Es de la marca WATER QUALITY TESTER. Funcionan midiendo el voltaje entre dos electrodos, dando como resultado el valor de pH correspondiente [34]. Además, este instrumento puede medir la temperatura del líquido (en grados centígrados [°C] o en grados Fahrenheit [°F]), el total de Sólidos Disueltos (TDS, por sus siglas en inglés de *Total Dissolved Solids*) en tres escalas diferentes en unidades de partes por millón [ppm] o por trillón [ppt], la Conductividad Eléctrica (EC, por sus siglas en inglés de *Electrical Conductivity*) en tres escalas diferentes en unidades de Siemen [S] y la Salinidad del líquido en porcentaje [%].

2.3. Dispositivos de protección y seguridad

Los dispositivos de protección tienen una función sumamente importante en los circuitos eléctricos. Se encargan de garantizar la protección de las instalaciones en caso de presentar alguna falla en la conexión o en caso de que se altere el funcionamiento habitual tanto de los equipos como de la instalación.

2.3.1. Interruptores termomagnéticos

Los interruptores termomagnéticos (Figura 2.13) son dispositivos cuya función es interrumpir el flujo de la corriente eléctrica de los circuitos cuando detecta una sobrecarga o un cortocircuito [35]. Estos actúan dejando circular un pico de corriente por un lapso de tiempo corto, por lo regular del orden de los milisegundos. Sin embargo, si el exceso de corriente se mantiene por un tiempo mayor, se activa un sistema que interrumpe el paso de la corriente. Se pueden adquirir para diferentes amperes de operación y con diferentes curvas de acción dependiendo del sistema a proteger, como motores de inducción, alimentación de dispositivos electrónicos o instalaciones eléctricas.



Figura 2.13: Interruptor termomagnético ABB.

2.3.2. Contactores industriales

El contactor industrial (Figura 2.14) es un dispositivo de conmutación eléctrico de tipo mecánico que funciona aplicando un voltaje a su bobina, esto crea un campo magnético que mueve los contactos a la posición cerrada conduciendo la corriente de los conectores de entrada (L1, L2 y L3) a los conectores de salida (T1, T2 y T3), respectivamente. [36]; al desenergizar su bobina, se suspender el paso de la corriente. La operación de conmutación tiene la finalidad de activar/desactivar las bombas de del sistema de riego del invernadero. Las bobinas de los contactores operan a 127 volts en AC.



Figura 2.14: Contactor industrial. Marca ABB (izq.) y marca EATON (der.).

2.3.3. Relevadores bimetalicos

Los relevadores bimetalicos, también conocidos como *relevadores de sobrecarga*, son dispositivos de protección ante fallas de fase y sobrecarga (Figura 2.15). Cuando se detecta una falla como desbalance de fases o una mayor cantidad de corriente a la establecida en la perilla de ajuste, se abre el contactor auxiliar NC; esto termina el paso de la corriente y protege el sistema de carga. Para este trabajo, la protección se realiza sobre las bombas de riego. En la parte frontal del dispositivo, se tiene una perilla para ajustar el valor del consumo de corriente del sistema a proteger. Por lo regular, éste se establece agregando un 20 % más del valor nominal. Por ejemplo, si el consumo de la bomba de 1/2 hp es de 4,7 A, entonces el ajuste se establece en 5,6 A.



Figura 2.15: Relevador bimetálico modelo ZB32-6, marca EATON.

2.3.4. Relevadores

Los relevadores, conocidos también como relés (Figura 2.16), son dispositivos electromagnéticos que se encargan de abrir y cerrar el paso de la corriente eléctrica. Su funcionamiento es similar al de un contactor, a excepción de que estos solo pueden manejar niveles de corriente de pocos amperes. Por lo regular, son de un polo y dos tiros, sus tres conexiones tienen la nomenclatura *Común (C)*, *Normalmente Abierto (NA)* y *Normalmente Cerrado (NC)*. Cuando el relevador se activa, se produce un campo electromagnético interno, el cual hace que cambie su estado de **NA** a **NC**, permitiendo la circulación de la corriente [37].

En este trabajo se utilizaron relevadores industriales como intermediarios entre el PLC S7-300 (salidas de 24 volts CD) y los contactores de potencia (bobinas de 127 volts AC).



Figura 2.16: Relevador y base de la marca *Finder*, modelo 40.51.9.024.

2.3.5. Conexión a tierra

En la Figura 2.17 se muestra el símbolo de *tierra física*, que indica dónde se debe conectar el cable de conexión a tierra de una herramienta o sistema eléctrico [39]. Una conexión a *tierra física* significa crear un camino de baja resistencia hacia la superficie de la tierra para que la corriente excedente de un circuito siga este camino. Con ello, se evitan descargas eléctricas, lesiones o incluso la muerte de una persona. La conexión a tierra se usa para disipar los efectos dañinos de un cortocircuito eléctrico, y en su caso, para evitar daños por rayos eléctricos producidos entre las nubes.

Debido a la exposición de los módulos fotovoltaicos (que proveen de energía eléctrica) y de la estructura metálica del invernadero a los acontecimientos climáticos como lluvias,



Figura 2.17: Símbolo de tierra física.

se emplea la puesta a tierra del invernadero.

Además, con el objetivo de ofrecer una mayor protección a las personas, los equipos instalados como PLC's y tableros se conectan a *tierra física*.

2.4. Controladores Lógicos Programables (PLC)

Un Controlador Lógico Programable (PLC, por las siglas en inglés de *Programmable Logic Controller*) es una computadora industrial que procesa y recibe señales digitales y analógicas. Es considerablemente utilizado en la industria para la automatización de procesos de fabricación, controlar líneas de producción, monitoreo de sistemas complejos y mejorar la eficiencia operativa, entre otras. El PLC permite sustituir las tareas manuales por acciones automáticas, lo que trae beneficios como la rapidez, una mayor precisión y consistencia en la producción. Cada empresa posee diferentes necesidades de control, por lo que las acciones de un PLC pueden ser programadas para satisfacer dichas necesidades y brindar diversas funciones [40].

Los PLC's que se utilizan en este trabajo se describen a continuación:

- **PLC Siemens S7-300.** Es un controlador industrial que fue desarrollado con enfoque en la optimización de la productividad. Está diseñado para operar en ambientes industriales severos y ofrecer alta fiabilidad y durabilidad. Este PLC cuenta con una CPU *CPU313C – 2DPP* con las siguientes características:
 - Entradas/Salidas: 16 DI/16 DO.
 - Tres contadores de alta velocidad (30 kHz).
 - Fuente de poder integrada de 24 V DC.
 - Memoria de trabajo con una capacidad de 128 KB.
 - Conector frontal de tipo 1×40 – *pole*.
 - Tarjeta de memoria tipo Micro.

Además, se agregó un módulo de entrada analógica modelo SM331 con 2 entradas analógicas y 12 Bits de resolución (Figura 2.18).

Otras de sus características importantes son que se le pueden conectar un amplio abanico de módulos para una adaptación óptima a las tareas de automatización, inclusive con características descentralizadas e interconexiones por red [41].

- **PLC Schneider TWDLMDA20DTK.** Este controlador se caracteriza por ser compacto y modular (Figura 2.19). Está diseñado para aplicaciones de automatización de tamaño pequeño a mediano. Sus características son:



Figura 2.18: PLC de la marca *Siemens* modelo CPU 313C-2 DP + módulo analógico SM331.

- 20 Entradas/Salidas digitales, de las cuales 12 son entradas y 8 son salidas a transistor.
- Se alimenta con 24 V DC requiriendo una fuente externa.
- Se puede expandir a 4 módulos.
- Tiene un reloj de tiempo real
- Cuenta con 32 KB de memoria.



Figura 2.19: PLC de la marca *Schneider* modelo TWDLMDA20DTK.

Para facilitar la conexión con este controlador se emplea un módulo de interfaz de conexión que contiene 8 relevadores de un polo con dos tiros (**NA/NC**) e indicadores tipo LED para conocer de manera visual la activación de los relevadores (Figura 2.20).

2.4.1. Lenguajes de programación

Para realizar la programación de un PLC se requiere de un software específico, de acuerdo con la marca y modelo. Además, se pueden emplear diferentes lenguajes de

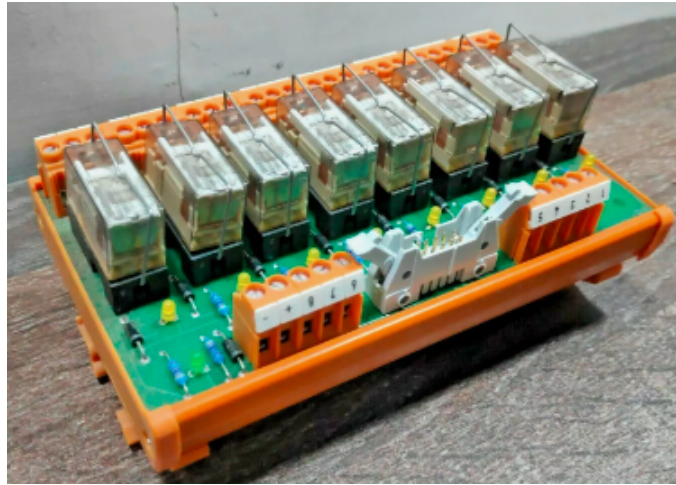


Figura 2.20: Módulo de conexión empleado para el PLC Schneider.

programación como el lenguaje de escalera, el texto estructurado, el diagrama de bloques de funciones y el Grafcet, entre otros.

En este trabajo se utilizan los siguientes lenguajes de programación:

- **Lenguaje escalera (Ladder Logic)**, conocido también como lenguaje de contactos. Imita diagramas de circuitos en escalera leídos de izquierda a derecha, cada escalón representa una acción específica a realizar por el PLC, partiendo de una serie de entradas (contactos) que dan como resultado la activación/desactivación de una o varias salidas (bobinas), como se muestra en la Figura 2.21.

A causa de su característica visual, este lenguaje de programación suele ser muy sencillo de implementar [40].

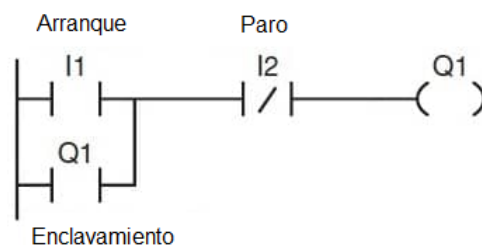


Figura 2.21: Lenguaje escalera (arranque de un sistema con enclavamiento).

- **Lenguaje Grafcet**, es el acrónimo de *GRAfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones* [44]. Es un lenguaje gráfico de programación que establece una secuencia lógica de comportamientos [45], que contempla:
 - Etapas. Tiene una etapa inicial y se le pueden agregar etapas normales o de estados, que establecen acciones asociadas y transiciones para crear flujos de trabajo lógicos.
 - Acciones asociadas. Se emplean para indicar las acciones que se deben realizar como consecuencia de las condicionales previas.

- Transiciones. Son segmentos de condiciones que permiten el paso de una etapa previa a la siguiente.

En la Figura 2.22 se muestra un ejemplo simple del lenguaje de programación Grafcet.

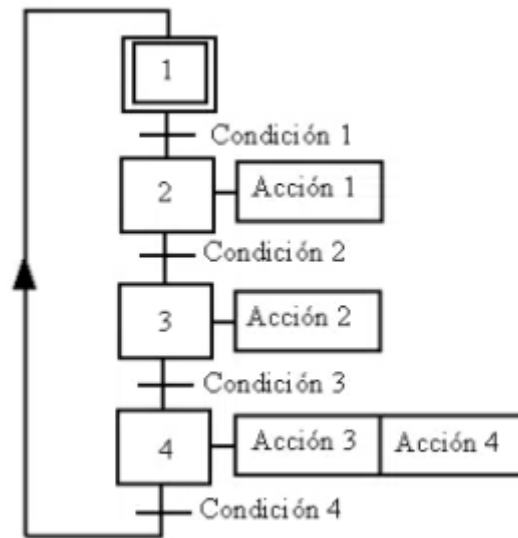


Figura 2.22: Lenguaje de programación Grafcet.

Además, se utilizan líneas de enlace para establecer el flujo completo (línea con flecha). Este método permite trabajar con diagramas secuenciales, paralelos y otras particularidades.

Un detalle importante es que no todos los PLC's aceptan o incorporan este lenguaje de programación.

2.4.2. Protocolo Maestro-Esclavo

El protocolo Maestro-Esclavo (Master-Slave) es un modelo de comunicación en el que un dispositivo es asignado como Maestro (Master) controlando a uno o más dispositivos asignados como Esclavos (Slaves) [46]. El dispositivo maestro es quien posee el control total de todo el sistema, éste se comunica con uno o más esclavos estrictamente para permitirles realizar las tareas asignadas.

Para este trabajo, el PLC Siemens se configura como maestro y el PLC Schneider como esclavo (Figura 2.23). La prioridad del maestro es realizar los riegos del cultivo y el tratamiento de agua pluvial. En cambio, el esclavo tiene la tarea de mantener una temperatura adecuada en el interior del invernadero, automatizando el movimiento de las cortinas del invernadero y la activación de los ventiladores que se ubican en su interior.



Figura 2.23: Protocolo maestro-esclavo.

Capítulo 3

Fundamentos del tratamiento de agua pluvial

3.1. Captación de agua

A lo largo de la historia se han desarrollado diversos métodos para captar y aprovechar el agua de lluvia. Sin embargo, a partir de la modernización y extensión de los servicios públicos para facilitar el acceso al agua potable, la práctica de captación de agua dejó de ser tan común, por lo que actualmente son pocas las edificaciones que cuentan con sistemas de captación pluvial.

En los últimos años, esta práctica se ha reconsiderado debido al rápido aumento de la población mundial y la escasez de agua potable. Varios expertos en la materia pronostican que en poco tiempo la cantidad de agua potable disponible no sea suficiente para cubrir la demanda. Debido a esto, los sistemas de captación de agua pluvial se ha llevado principalmente a zonas rurales como una alternativa muy importante para ahorrar y aumentar sus reservas de agua donde el acceso al agua potable es muy difícil y no se encuentra al alcance de todos.

La calidad del agua de lluvia captada depende de distintos factores, principalmente del lugar donde se recolecta, de los contaminantes del aire y las superficies por las que circula el agua. Debido a esto, es necesario llevar a cabo un proceso de tratamiento o filtrado y un correcto almacenamiento del líquido. Dependiendo de los factores contaminantes presentes en el agua y su tratamiento, se puede utilizar para distintos fines como son la agricultura, la industria, el uso doméstico o residencial, pero si su fin es para consumo humano será necesario que pase por un procesos riguroso de filtrado para cumplir con las normas oficiales que establecen los parámetros deseables del agua potable.

Actualmente los sistemas de captación de agua pluvial junto con una cultura de aprovechamiento y ahorro del agua, se han considerado para la solución de los problemas de abastecimiento hídrico en muchas ciudades alrededor del mundo.

3.1.1. Métodos de captación

Se le conoce como método de captación y aprovechamiento de agua a aquellos que sirven para aumentar las reservas y disponibilidad de agua para cualquier uso que se requiera.

Los métodos enfocados a la agricultura, se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Microcaptación.** Este método es utilizado principalmente en la agricultura. El objetivo es captar el agua que escurre dentro del mismo terreno de cultivo, ésta se infiltrará y así será aprovechada por los cultivos. Para que el escurrimiento de agua sea óptimo, se requiere un terreno con una pendiente suficiente, una superficie lisa y poco permeable que no contenga vegetación. De esta manera, el agua escurrirá superficialmente hasta llegar al área donde se requiera utilizar. Esta área debe contener surcos o camellones para que el agua sea captada.
- **Macrocaptación.** Este método es utilizado también en la agricultura. Sin embargo, se utiliza para lograr volúmenes más grandes de agua. Aunque es muy parecido al método anterior, las técnicas son un poco más complejas. La escorrentía ¹ superficial se llevará a cabo en áreas más grandes, éstas pueden estar contiguas al cultivo o no. El área para generar el escurrimiento puede tener las mismas características, sin embargo, la ausencia de vegetación no es requisito. El área donde se acumulará el agua debe estar bien contenida, por lo que se requieren muros de contención o canales bien establecidos. Esta agua es útil también para abastecer estructuras de almacenamiento. Este método se utiliza principalmente en regiones semiáridas o áridas.
- **Cosecha de agua, en techos de vivienda y otras estructuras impermeables.** Consiste en captar el agua de lluvia que escurre sobre superficies impermeables, ya sea techos, patios, superficies rocosas, estructuras de concreto o mampostería, entre otras. Para conducir el agua se emplean canaletas que pueden ser de PVC, lámina o cualquier material similar. El almacenamiento del agua se lleva a cabo en tanques, de concreto o plástico; los tanques pueden ser colocados sobre el suelo o en una excavación (Figura 3.1). El uso principal de este método es el doméstico.

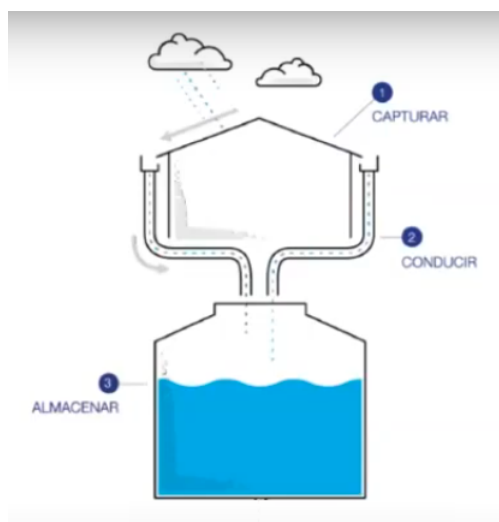


Figura 3.1: Figura del manual *Cosechar la lluvia* de SEDEMA, CDMX.

¹En hidrología, la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

3.2. Diseño y construcción del sistema de captación

En esencia un sistema de captación se encarga de recolectar agua de lluvia que será tratada para su posterior uso; en este caso para el riego de un cultivo.

En México, de acuerdo con el INEGI [47], el 76 % del agua se utiliza en la agricultura; 14 %, en el abastecimiento público; 5 %, en las termoeléctricas y 5 %, en la industria. Debido a la demanda en la agricultura y la escasez de agua, el sector agrícola ha requerido racionar al máximo el uso y consumo del agua disponible, lo que ha llevado a la necesidad de la instalación de sistemas adecuados para la recolección del agua de lluvia en los invernaderos. [48].

En este trabajo se desarrolla un sistema de captación de agua pluvial empleando el método de “Cosecha de agua”, descrito en el apartado anterior.

3.2.1. Canaletas, tubos y tanque de captación

Para la implementación del sistema de captación de agua deseado, se realizó el bosquejo que consiste en el ensamblaje de dos canaletas, colocación de un sistema conducción de líquido (tubería) y la instalación de un tanque de almacenamiento de agua pluvial.

A continuación se describen los pasos de la instalación:

Paso 1. Se inspeccionó el lugar donde se podría colocar la canaleta. Se observó que se podía colocar una de cada lado del invernadero.

Paso 2. El material con que se contaba eran tramos de canaleta galvanizada de $0,15 \times 0,10 \times 2,0$ m. Se tuvo que revisar la estructura del invernadero para elegir donde se colocarían los soportes, teniendo en mente el espacio usado para los soportes de las celdas solares con que cuenta el invernadero. En total se necesitaron 4.50 m de longitud para cada una de las canaletas.

Paso 3. Se unieron tres tramos de canaletas para cumplir con la medida requerida. Para esto se realizaron perforaciones con taladro en los extremos a unir, después se aplicó silicón en las orillas para prevenir fugas entre las uniones y por último se fijaron con remaches de aluminio tipo *pop* de $4,0 \times 8$ mm.

Paso 4. Para hacer las bases para las canaletas en forma de rectángulo con medidas internas de $0,15 \times 4,5$ m, se cortó tubular cuadrado de acero de 1”, cédula 0,18. Una vez realizados los cortes, se usó una inversora de la marca VOLT, modelo *Volt 6160TRV* y electrodos 6013 de 1/8” para soldar los tubos. Posteriormente, se afinaron los acabados con un esmeril para asegurar la correcta inserción de las canaletas en las bases rectángulo.

Paso 5. Para dar soporte a las bases rectángulo, se tomaron medidas adicionales para cortar tubular cuadrado de la misma medida y hacer soportes diagonales y laterales. El objetivo fue formar un triángulo rectángulo invertido como soporte donde el cateto adyacente fue el contacto directo con la estructura del invernadero. Una vez armado el triángulo, se soldaron las piezas. Posteriormente, se soldaron soleras de 1×1 ”, cédula 0,18 al triángulo. En

seguida, se lijaron y se pintaron los soportes triangulares con esmalte blanco empleando una brocha.

Paso 6. Se colocaron unas tapas para cerrar la canaleta del lado de la caída del agua (en los extremos de las canaletas). En cada una de las tapas se realizó un corte circular de 4" de manera que quedaran unas pestañas útiles para adaptar tubo PVC de 5". Además, se le instaló tela mosquitera en la parte superior de la canaleta pegada con silicón para evitar el ingreso de basura como ramas u hojas o incluso algunos pequeños animales que puedan contaminar el agua.

Paso 7. Se montaron las canaletas sobre las bases rectangulares perforándolas con taladro y fijándolas con pijas punta de broca del No. 8 de 1/2".

Paso 8. Se montaron bases armadas (soportes) en cada pared lateral del invernadero, como se puede observar en la Figura 3.2, fijándolas con los tornillos galvanizados de $3/8 \times 4$ ", rondanas y tuercas galvanizadas de 9/16".



(a) Vista lateral izquierda.



(b) Vista lateral derecha.

Figura 3.2: Instalación de canaletas de captación en los costados del invernadero.

Paso 9. Para el sistema de conducción de agua pluvial se colocó un tramo de tubo de 4" en las tapas del extremo de las canaletas. En seguida, se colocaron codos de $4" \times 90^\circ$ y tubo de 4" para dirigir el líquido a la parte baja, donde se colocaron codos de $4" \times 45^\circ$ para formar una conexión tipo "Y" (yee), que une el flujo en una sola vía. En la parte final del sistema de conducción, se colocó un reductor de 4" a 2" y tubo correspondiente para conducir el líquido al tanque denominado *tanque 1* o *tanque pluvial*. En la Figura 3.3 se puede observar el sistema de conducción instalado y el tanque de almacenamiento.



Figura 3.3: Tubería de conducción de agua pluvial y tanque de almacenamiento.

Paso 10. Una vez terminada la instalación, se procedió a realizar una emulación de lluvia; vertiendo agua en las canaletas para examinar su recorrido por la tubería, revisando que no existieran fugas.

3.3. Análisis químico del agua.

La calidad del agua es más importante para los cultivos que crecen con medios de crecimiento pequeños (por ejemplo, plántulas, macetas pequeñas) o sistemas hidropónicos. Los entornos de crecimiento en invernaderos y túneles altos también aumentan la importancia de la calidad del agua porque el riego es la única fuente de agua. Los cultivos al aire libre se ven menos afectados por las fuentes de agua de riego si experimentan la dilución de las precipitaciones naturales. En cualquier caso, el análisis del agua debe ser el primer paso a la hora de considerar el uso del agua de riego para garantizar que se obtenga el máximo rendimiento de los cultivos y que no se produzcan problemas de toxicidad en las plantas.

La tabla 3.1 incluye los parámetros del kit de pruebas de riego del *Laboratorio de Servicios Analíticos Agrícolas* de Penn State University, Pennsylvania, Estados Unidos de América, donde se muestran los niveles aproximados considerados normales en aguas de riego. Sin embargo, algunas especies de plantas tienen tolerancias de calidad de agua que difieren de los niveles generales considerados normales. Se insta a los agricultores a que investiguen las tolerancias específicas de la calidad del agua de sus cultivos, especialmente si notan problemas de crecimiento o de salud en respuesta al riego.

Parámetro	Unidad	Agua de riego (valores normales)
pH		5 - 7
Cloro(Cl)	mg/l	0 - 100
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/l	0 - 640 (Plántulas)
Dureza (Ca y Mg)	mg/l	50 - 150
Calcio (Ca)	mg/l	40 - 100
Nitrato - nitrógeno (NO ₃ -N)	mg/l	0 - 5
Alcalinidad total (CaCO ₃)	mg/l	30 - 100
Azufre (S)	mg/l	+10
Metales	~	~
Hierro (FE)	mg/l	0 - 0.30
Magnesio (Mn)	mg/l	0 - 0.05

Tabla 3.1: Parámetros del Laboratorio de Servicios Analíticos Agrícolas de Penn State University.

3.3.1. Análisis químico de agua potable y agua pluvial.

La mayoría de los resultados de las pruebas se expresarán en miligramos por litro (mg/L), siendo equivalentes a partes por millón (ppm) en soluciones acuáticas [49].

Una vez que se recolectó el agua de las primeras lluvias con el sistema de captación implementado, se tomó una muestra de ésta y otra muestra de agua potable de los servicios públicos de distribución de la Ciudad de México para realizar un análisis en el *Laboratorio de Química* del plantel Casa Libertad de la UACM.

La tabla 3.2 incluye los parámetros del kit de prueba del laboratorio, donde se muestran los valores de cada uno de los parámetros requeridos para conocer la calidad del agua. En los resultados obtenidos del análisis realizado se observó que el agua pluvial tiene un pH menor al del agua potable y una notable disminución de minerales.

Parámetro	Agua potable	Agua pluvial recolectada
pH	8.06	6.68
Cloro (CL)	1 ppm	0.1 ppm
Salinidad	56 ppm	8 ppm
Dureza (Ca y Mg)	96 ppm	4 ppm
Calcio (Ca)	60 ppm	4 ppm
Nitrato	10 ppm	2 ppm
Metales	0.5 ppm	0.5 ppm

Tabla 3.2: Resultados del análisis químico de agua potable y agua pluvial.

A continuación se describe el proceso del tratamiento de agua pluvial para cumplir con los valores considerados *normales* para el riego de cultivos, esto con el objetivo de garantizar su adecuado crecimiento y desarrollo.

3.4. Tratamiento de agua pluvial

El tratamiento de agua es llevado a cabo por medio de procesos físicos, químicos o biológicos con el objetivo de eliminar los contaminantes naturales, industriales o domésticos, entre otros que puedan estar presentes en el agua.

El agua tratada es utilizada de distintas maneras y de esto depende el proceso de filtrado que se realice. También es importante a tomar en cuenta los contaminantes que contiene el agua, con esto se puede optar por un tratamiento de filtrado adecuado para obtener líquido con características específicas.

Entre los beneficios del tratamiento de agua pluvial se tienen:

- Disminuir el uso de agua subterránea.
- Prevención de sequías e inundaciones.
- Conservación del medio ambiente.
- Fácil mantenimiento.

De manera general, la mayoría de los procedimientos se han desarrollado para el tratamiento de aguas residuales consistiendo en cuatro etapas; *pretratamiento*, *tratamiento primario*, *secundario* y *terciario*.

Para este proyecto se emplea un procedimiento con etapas similares pero enfocadas al agua pluvial. A continuación, se describe cada una de ellas.

A. Pretratamiento.

El objetivo del pretratamiento es llevar a cabo operaciones físicas y mecánicas para separar del agua pluvial la mayor cantidad de contaminantes de tamaño pequeño o mediano tales como hojas de árboles, ramas, basura, entre otros.

En este proyecto se colocó tela mosquitera en la parte superior de las canaletas para evitar el ingreso de ramas, hojas de árboles, algunos animales como lagartijas o insectos como arañas, grillos, entre otros.

B1. Tratamiento primario

Este proceso consistió en el uso de la cloración, agregando pequeñas cantidades de cloro al líquido. Este tratamiento se empleó para eliminar contaminación orgánica, amplia variedad de bacterias y virus.

B2. Tratamiento secundario I

El tratamiento secundario I consistió en eliminar sólidos suspendidos mediante filtrado mecánico. Para ello se usó un filtro con cartucho tipo plisado de 15 micras logrando un líquido más claro.

B2. Tratamiento secundario II

El tratamiento secundario II consistió en la colocación de un filtro de carbón activado para mejorar la calidad del agua. Debido a la composición del carbón activado éste retiene moléculas como toxinas, microorganismos o químicos (cloro); eliminado sabores y olores.

B3. Tratamiento terciario

Finalmente, para asegurar que el agua cumpla con la normatividad y pueda ser apta para el abastecimiento agrícola, se utilizó una lámpara de luz UV. El empleo adecuado de luz UV en intensidad y temporalidad, es eficaz para inactivar microorganismos al afectar su material genético, impidiendo su reproducción y causando su muerte.

En la siguiente Figura se puede observar el sistema de tratamiento de agua pluvial instalado en el invernadero.



Figura 3.4: Sistema de tratamiento de agua pluvial.

3.5. Resultados del análisis químico del agua tratada

Después de que se recolectó el agua de lluvia, se realizaron varios ejercicios en la etapa de cloración; cambiando la cantidad de cloro y de esta manera lograr conseguir distintas muestras de agua resultante. Esto se realizó con la finalidad de analizar y comparar los resultados con los valores normales de agua de riego de la Tabla 3.1.

Para el análisis químico del agua tratada, se utilizó el cloro comercial de la marca Cloralex que tiene una concentración de hipoclorito de sodio del 4 % - 6 % (se encuentra al reverso de cada etiqueta por producto), en donde se indica la siguiente instrucción: “Aplique 2 gotas de cloro por 1.0 L de agua”.

Sin embargo, en la literatura se han encontrado otras cantidades. En [50]; las noticias de la Universidad de Playa Ancha, informa que para una concentración del 5 % se debe aplicar 1 gota de cloro comercial por cada litro de agua. En [51] la Secretaría de Salud del Gobierno de México informa que para una concentración del 6 %, se deben agregar 2 gotas de cloro de uso doméstico por cada litro de agua.

El tanque donde se almacena el agua del proceso de cloración tiene una capacidad de 60 litros. Siguiendo las instrucciones de agregar 2 gotas por litro, la cantidad vertida de cloro sería de 120 gotas en el tanque, lo cual es una cantidad de cloro considerable. Por otro lado, seguir la instrucción de agregar 1 gota por litro equivale a verter 60 gotas de cloro en el tanque. Debido a la notable diferencia de cantidades de cloro, se tomó la decisión de realizar las pruebas con las siguientes cantidades: a) 20 gotas; b) 40 gotas;

c) 60 gotas y d) 80 gotas. Posteriormente, para cada una de las cantidades, se realizó el tratamiento de agua pluvial (filtro de sedimentos, filtro de carbón activado y radiación de luz UV) y se obtuvieron las respectivas muestras.

Posteriormente, se realizó la fase de análisis del agua tratada que consistió en dos pruebas:

- En la primer prueba se utilizaron el medidor de calidad del agua electrónico para medir el pH (Figura 2.12) y el kit de prueba *WATER POLLUTION* de la marca *LaMotte*, modelo *AM-21*, código 5905-01, que se encuentra en el Laboratorio de Química del plantel Casa Libertad de la UACM, como se muestra en la Tabla 3.3.
- La segunda prueba se realizó en el plantel San Lorenzo Tezonco de la UACM, con las tintas reactivas para prueba de la calidad del agua (Figura 2.11). Los resultados obtenidos con este método fueron poco satisfactorios; los valores fueron poco precisos por lo que únicamente se tomaron los datos de la primer prueba.

En la siguiente tabla se incluyen los resultados de la aplicación de las diferentes cantidades de cloro en un litro de agua.

Elementos	20 gotas	40 gotas	60 gotas	80 gotas
pH	6.17	5.95	6.19	6.03
Cloro (Cl)	0 ppm	0.1 ppm	8 ppm	10 ppm
Alcalinidad (CaCO₃)	Muy alcalino, más de 280 ppm			
TDS	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Dureza	6 ppm	6 ppm	6 ppm	6 ppm
Azufre (S)	No hay presencia			
Nitrato	No hay presencia			

Tabla 3.3: Resultado análisis químico del agua tratada, con medidor de pH electrónico y Kit de prueba de la marca NRUTTBDCU.

Considerando los datos obtenidos y analizándolos con respecto a la Tabla 3.1 se puede observar que los parámetros del pH, cloro, total de sólidos disueltos y azufre se encuentran dentro de los valores normales en aguas de riego. Para los parámetros de alcalinidad, dureza y azufre, se recomienda revisar las notas del **Anexo A** para su solución.

Se observa que todas las muestras son consideradas adecuadas para el uso del riego. Sin embargo, al aumentar el número de gotas de cloro en el agua pluvial, también aumenta su concentración en el agua tratada. La concentración de cloro aumentó de 0.0 a 0.1 ppm para 40 gotas, siendo un valor mínimo. Se notó una mejora en la reducción de la acidez del agua tratada por lo que para el desarrollo de este proyecto se optó por utilizar dicha cantidad por cada litro de agua.

Capítulo 4

Automatización del tratamiento de agua pluvial y riego del cultivo con el PLC S7-300

En este apartado se describe tanto la automatización del tratamiento de agua pluvial como del riego del cultivo.

Bajo el concepto de **Automatización Industrial**, algunos autores la definen como:

“Es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana”

4.1. Automatización del tratamiento de agua pluvial

4.1.1. Arquitectura del sistema

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de bloques de la secuencia del tratamiento de agua, donde cada fase está condicionada a la señal de los sensores de nivel.

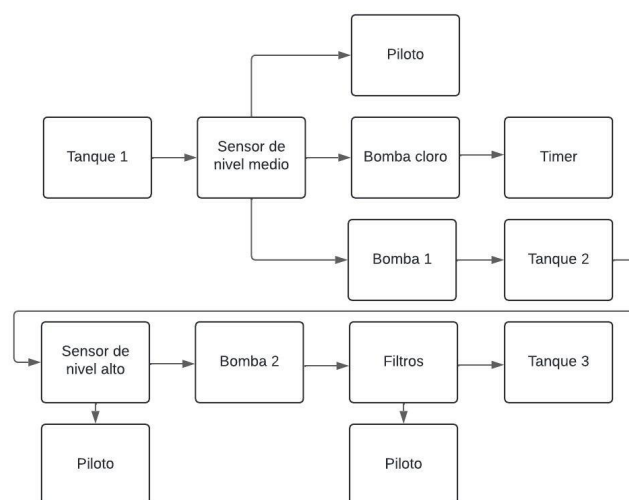


Figura 4.1: Diagrama de bloques del tratamiento de agua pluvial.

Sensores de nivel

Para conocer el nivel de llenado de cada uno de los tanques, se colocaron varios sensores; donde el tanque de agua pluvial y el tanque de agua tratada tienen tres sensores para indicar los niveles de llenado: BAJO, MEDIO y ALTO. El tanque de agua clorada tiene dos sensores, y el depósito de cloro, solo un sensor.

En la Figura 4.2 se muestran los sensores de nivel empleados; estos se montaron en una regleta de aluminio con una separación adecuada con el propósito de conocer el nivel de llenado de los tanques.

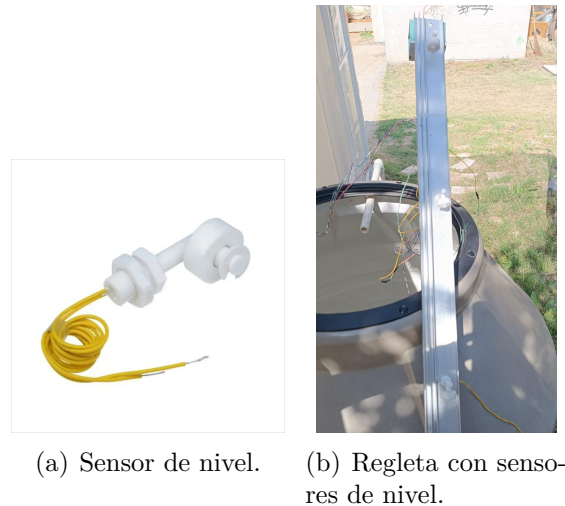


Figura 4.2: Sensores de nivel instalados en regletas.

Secuencia del tratamiento de agua y capacidades de tanques

En la Figura 4.3 se muestran las imágenes de la secuencia del tratamiento de agua pluvial que consisten en *tanque de agua pluvial*, *cloración* (tratamiento primario), *filtro de sedimentos* (tratamiento secundario I), *filtro de carbón activado* (tratamiento secundario II), *lámpara de luz UV* (tratamiento terciario) y *tanque de agua tratada*. En cada una de las imágenes se muestra la ubicación de los sensores de nivel.

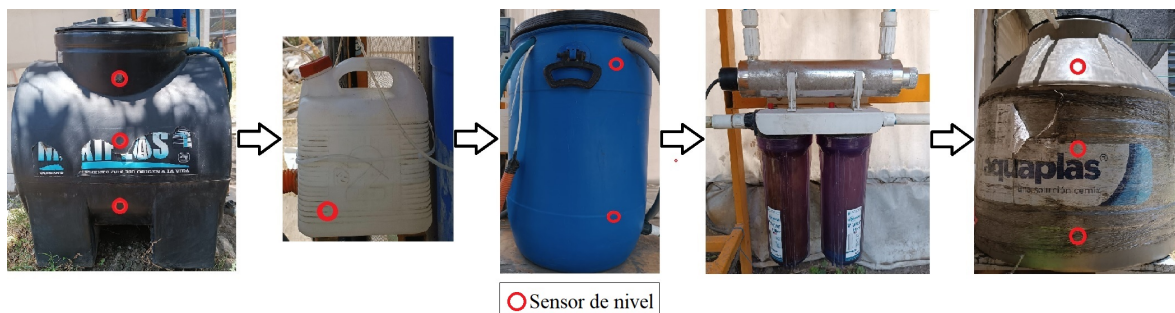


Figura 4.3: Secuencia en el tratamiento de agua pluvial.

El tanque de agua pluvial tiene una capacidad de 400 litros (L), el tanque de cloro es de

5 L, el tanque de cloración tiene una capacidad de 60 L y el tanque de agua tratada, de 450 L.

4.1.2. Diagrama eléctrico y gabinetes de control

En la Figura 4.4 se muestra el diagrama eléctrico de potencia del sistema de tratamiento de agua pluvial.

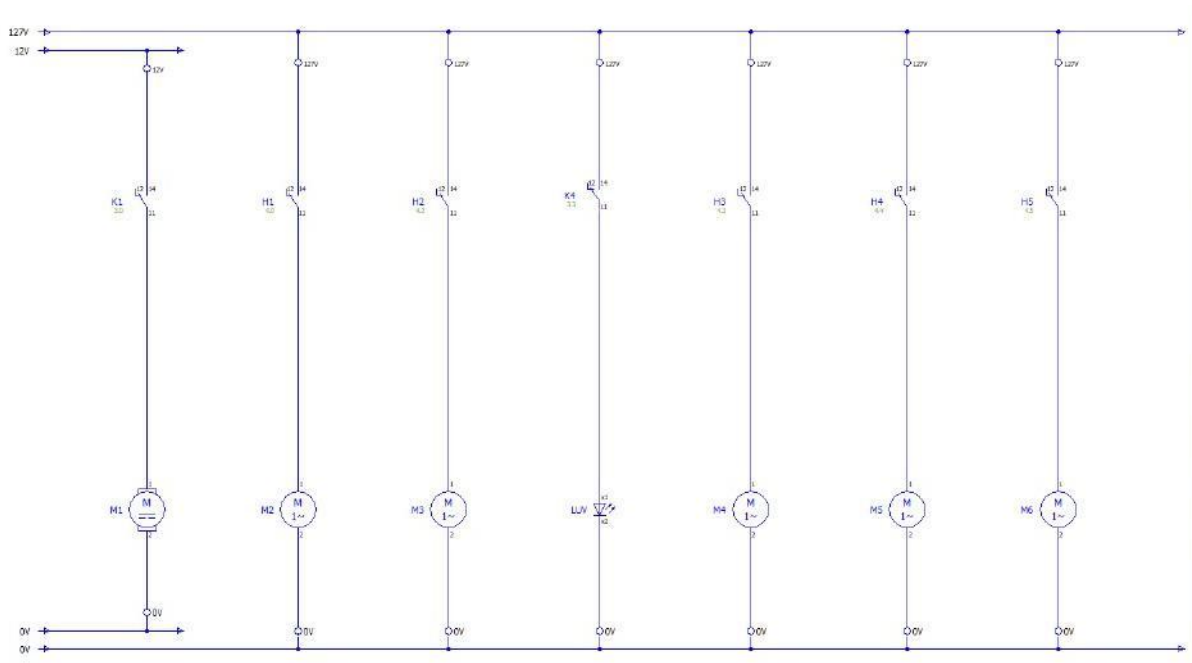


Figura 4.4: Diagrama eléctrico de potencia de las bombas de agua y luz UV.

La salida *M1* corresponde a la *bomba de cloro* (bomba peristáltica), su alimentación es de 12 Volts en CD. Las siguientes salidas se energizan con corriente alterna, conectándose a la línea de 127 Volts.

La bomba sumergible (*bomba 1*) se le asignó la etiqueta *M2*, a la bomba del filtrado (*bomba 2*) se le asignó *M3*, a la bomba del tanque tricapa (*bomba 3*) se le asignó *M4*, a la bomba de riego (*bomba 5*) se le asignó *M5*, y a la bomba de lixiviado (*bomba 6*) se le asignó *M6*. En el diagrama también se muestra la salida que activa la lámpara de luz UV, etiquetada como *LUV*.

Para el montaje de los gabinetes de control y de potencia del tratamiento de agua y riego del cultivo se realizaron los siguientes pasos:

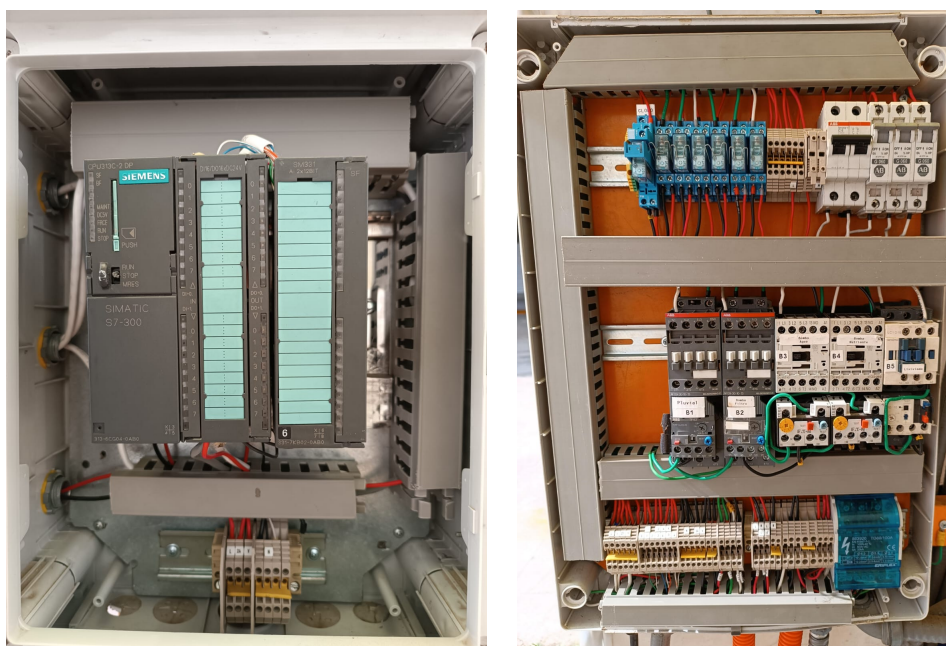
Paso 1. Para el armado del *gabinete de control del PLC S7-300* se realizaron mediciones en la platina para la colocación de canaletas ranuradas y riel DIN (Figura 4.5 inciso (a)), donde se montaron y conectaron:

- El PLC y las clemas de conexión.
- Las clemas para la línea de 24 Volts y el neutro.

- Las líneas de Entrada/Salida del PLC.

Paso 2. Para el montaje del *gabinete de potencia del tratamiento de agua pluvial y de riego* (Figura 4.5, inciso (b)), se realizaron mediciones en la platina para la colocación de canaletas ranuradas y riel DIN, donde se montaron:

- **En la parte superior:** Tres interruptores termomagnético de la marca AB para la protección de las bombas ante un corto circuito, un interruptor termomagnético de la marca ABB de dos polos para la lámpara UV y los ventiladores, siete relevadores de la marca Finder de 24 V DC como interfaz entre los sensores de nivel y el PLC, clemas de conexión y una cema fusible.
- **En la parte media:** Dos contactores ABB AF09 de 100/250 V AC, dos relevadores de sobrecarga térmica ABB TF42, dos contactores y dos relevadores de sobrecarga térmica de la marca EATON y un contactor con relevador de sobrecarga térmica de la marca Shneider Electric.
- **En la parte inferior:** Tres bloques de clemas de conexión. Un bloque fue para la alimentación del sistema a 127 V AC junto con un bloque de distribución Eriflex td80/100A donde se conectó el neutro. En otro bloque de clemas se conectaron las salidas del PLC que van a los contactores de las bombas, y en el tercer, los relevadores vinculados a los sensores de nivel.



(a) Gabinete de control con el PLC S7-300. (b) Gabinete de potencia del tratamiento de agua pluvial y riego del cultivo.

Figura 4.5: Gabinetes instalados en el cuarto de máquinas del invernadero.

Gabinete indicador de niveles

En la Figura 4.6 se muestra el gabinete con los pilotos indicadores del nivel de llenado para los tanques de agua pluvial, de cloración, de agua tratada, de solución nutritiva y líquido lixiviado.

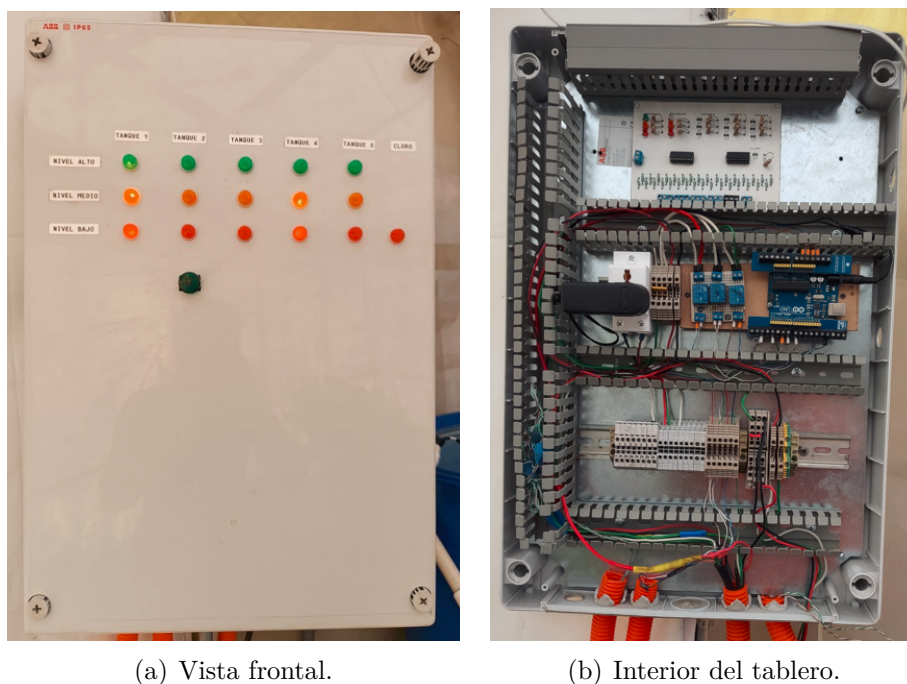


Figura 4.6: Gabinete de monitoreo de niveles de tanques.

En la tapa del gabinete (Figura 4.7) se visualiza el nivel de llenado de cada uno de los tanques, de acuerdo a la iluminación del piloto marcado como NIVEL ALTO (color verde), NIVEL MEDIO (color ámbar) y NIVEL BAJO (color rojo) .

También se tiene un piloto de color rojo para el depósito de cloro, que se iluminará cuando su contenido se termine.

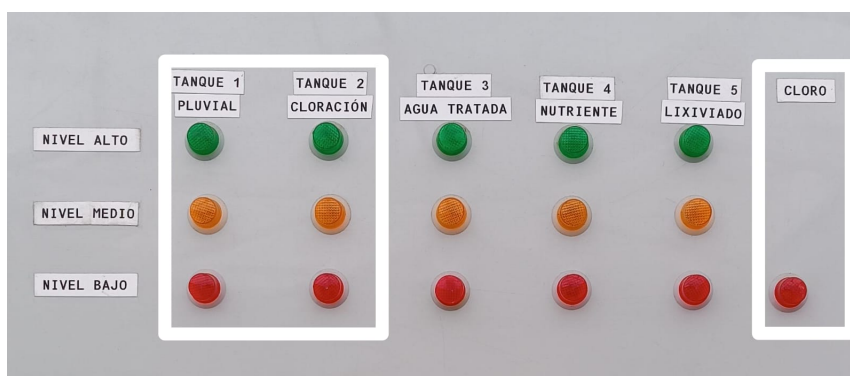


Figura 4.7: Indicadores de nivel para tanques y depósito de cloro.

En la Figura 4.8 se muestra el piloto asociado a la lámpara de luz UV, que se iluminará al encenderse la lámpara. Además, se agregó un sub-programa que cuenta el número de

horas de operación de la lámpara, de tal manera que, antes de que la lámpara cumpla con su tiempo de vida útil, el indicador comenzará a destellar continuamente, como alerta.



Figura 4.8: Tablero de piloto 2, Luz UV.

4.1.3. Diseño de la automatización

El diagrama de flujo del algoritmo para el tratamiento de agua pluvial se muestra en la Figura 4.9.

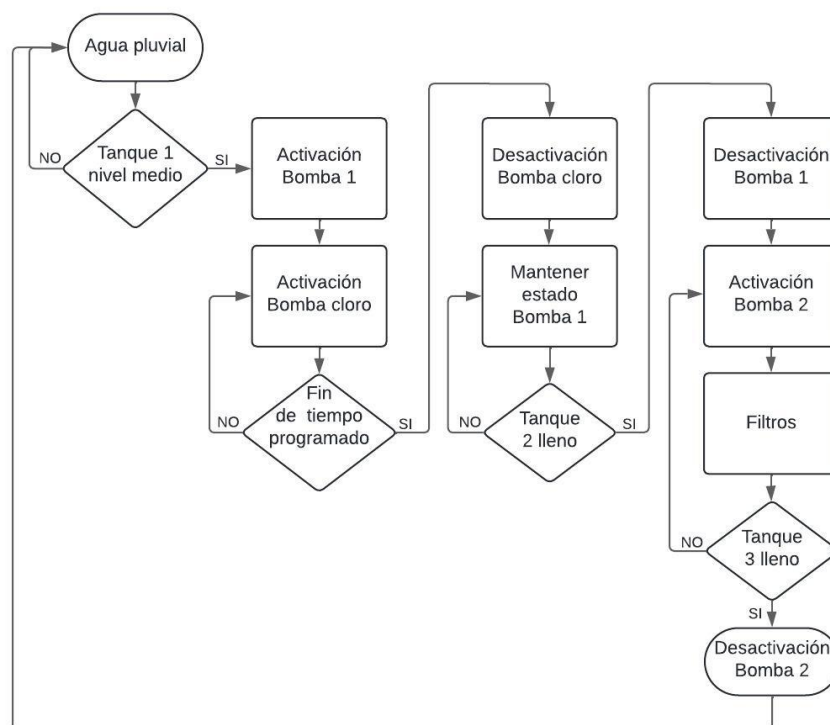


Figura 4.9: Diagrama de flujo del tratamiento de agua pluvial.

La secuencia se describe a continuación:

Configuración El *tanque 1* contiene la bomba sumergible mencionada en la sección 2.3.4 (denominada *bomba 1*) que extrae el agua pluvial almacenada y la envía a la etapa de cloración. Por su parte, el *depósito de cloro* cuenta con la bomba peristáltica mencionada en la sección 2.3.4 (denominada *bomba 2*), la cual se encarga de agregar gotas de cloro al agua pluvial.

Proceso Una vez que el agua pluvial llega al nivel medio del *tanque 1*, se activa el sensor NIVEL MEDIO, dando inicio al proceso de cloración. Este consiste en activar la *bomba*

1 y la *bomba 2* para ingresa al *tanque 2* tanto el agua pluvial como la cantidad de cloro requerida, obteniendo agua clorada.

Cuando en el *tanque 2* se activa el nivel ALTO, se apaga la *bomba 1* y se energiza una tercera bomba que envía el líquido a los filtros de membrana y carbón activado. Además, el líquido se hace radiar por luz ultravioleta (UV). Este proceso busca eliminar la mayor cantidad posible de cualquier compuesto y sedimento en el agua que afecte el crecimiento del cultivo.

Almacenamiento Después de los filtros, el agua es almacenada en un tercer tanque denominado *tanque tricapa* o *tanque 3*, donde se evita el crecimiento de algas, microorganismos o cualquier otro contaminante, manteniendo el agua en óptimas condiciones. Este proceso se repite hasta que el tanque 3 alcanza su nivel máximo.

4.1.4. Programación en TIA Portal

El software empleado para programar el S7-300 es el Portal de automatización integrada totalmente (TIA Portal, por las siglas en inglés de *Totally Integrated Automation Portal*), versión V.16. Este software proporciona acceso sin restricciones a la gama completa de servicios de automatización digitalizada [42].

Los lenguajes de programación utilizados son: Ladder Logic y Grafcet (Figura 4.10).

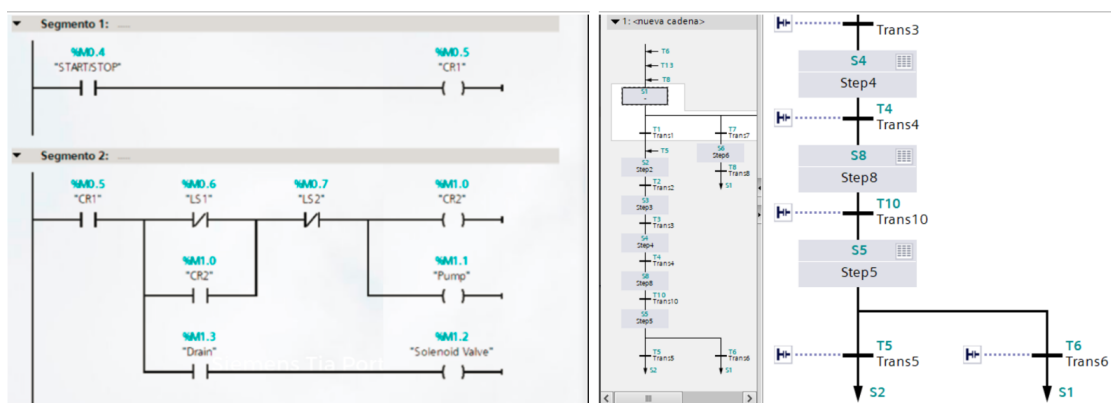


Figura 4.10: Lenguajes de programación en TIA Portal: Ladder (Izq.) y Grafcet (Der.)

Antes de realizar la programación del algoritmo, se definen las variables a utilizar en el software. En la Figura 4.11 se muestra la tabla de variables de la programación realizada. En la columna denominada **Nombre** se observa la definición de la variable, y en la columna **Comentario** se indica a qué sensor corresponde. En total, se definen 35 variables, de las cuales 16 son entradas, 11 salidas y 6 son marcas (requeridas para almacenar valores).

Programa_invernadero_tesis_pruebas ▶ PLC_1 [CPU 313C-2 DP] ▶ Variables PLC								
Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Visibl...	Comentario
1	Sensor_1_T1	Tabla de variabl...	Bool	%I0.0		☒	☒	Sensor inferior tinaco aguapluvial
2	Sensor_2_T1	Tabla de variables e...	Bool	%I0.1		☒	☒	Sensor medio tinaco agua pluvial
3	Sensor_3_T1	Tabla de variables e...	Bool	%I0.2		☒	☒	Sensor superior tinaco agua pluvial
4	Sensor_1_T2	Tabla de variables e...	Bool	%I0.5		☒	☒	Sensor inferior tinaco azul
5	Boton_Nutriente_Listo	Tabla de variables e...	Bool	%I0.4		☒	☒	Boton nutriente listo
6	Sensor_3_T2	Tabla de variables e...	Bool	%I0.3		☒	☒	Sensor superior tinaco azul
7	Sensor_1_T3	Tabla de variables e...	Bool	%I1.0		☒	☒	Sensor inferior tinaco tricapa
8	Sensor_2_T3	Tabla de variables e...	Bool	%I0.7		☒	☒	Sensor medio tinaco tricapa
9	Sensor_3_T3	Tabla de variables e...	Bool	%I0.6		☒	☒	Sensor superior tinaco tricapa
10	Sensor_1_T4	Tabla de variables e...	Bool	%I1.3		☒	☒	Sensor inferior tinaco nutriente
11	Sensor_2_T4	Tabla de variables e...	Bool	%I1.2		☒	☒	Sensor medio tinaco nutriente
12	Sensor_3_T4	Tabla de variables e...	Bool	%I1.1		☒	☒	Sensor superior tinaco nutriente
13	Sensor_1_T5	Tabla de variables e...	Bool	%I1.6		☒	☒	Sensor inferior tinaco lixiviado
14	Bit_selector_PLC	Tabla de variables e...	Bool	%I1.5		☒	☒	Sensor medio tinaco lixiviado
15	Sensor_3_T5	Tabla de variables e...	Bool	%I1.4		☒	☒	Sensor superior tinaco lixiviado
16	Sensor_Cloro	Tabla de variables e...	Bool	%I1.7		☒	☒	Sensor tanque cloro
17	Bomba1	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.1		☒	☒	Bomba sumergible tanque 1
18	Bomba_2_Filtros	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.2		☒	☒	Bomba azul mesa filtros
19	Bomba_3_Agua	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.4		☒	☒	Bomba Agua
20	Bomba_4_Nutriente	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.5		☒	☒	bomba Nutriente
21	Bomba_5_Lixiviado	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.6		☒	☒	Bomba Lixiviado
22	Ventiladores	Tabla de variables e...	Bool	%Q1.0		☒	☒	Ventiladores
23	Temp_cloro	Tabla de variables e...	Bool	%M0.0		☒	☒	Temporizador bomba cloro
24	Bomba_Cloro	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.0		☒	☒	Bomba peristáltica
25	LUV	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.3		☒	☒	Lámpara Luz Ultravioleta
26	Foco_prep_nutriente	Tabla de variables e...	Bool	%Q0.7		☒	☒	Foco preparar nutrienteSensor medio tina...
27	Cortinas	Tabla de variables e...	Bool	%Q1.1		☒	☒	Salida PLC Schneider Cortinas
28	Bit_Prioridad	Tabla de variables e...	Bool	%Q1.2		☒	☒	Bit de prioridad
29	Bomba_Activa_1	Tabla de variables e...	Bool	%M0.1		☒	☒	Bit de bomba activa
30	Bomba_Activa_2	Tabla de variables e...	Bool	%M0.2		☒	☒	Temporizador para desactivación de bom...
31	Bomba_Activa_3	Tabla de variables e...	Bool	%M0.3		☒	☒	
32	Bomba_Activa_4	Tabla de variables e...	Bool	%M0.4		☒	☒	
33	Temp_desact_bomba2	Tabla de variables e...	Bool	%M0.5		☒	☒	
34	pt100	Tabla de variables e...	Int	%IW2		☒	☒	
35	salida_pt100	Tabla de variables e...	DInt	%QD4		☒	☒	
36	<Agregar>					☒	☒	

Figura 4.11: Tabla de variables en la programación del PLC S7-300

Las etapas del tratamiento de agua pluvial se programaron en Grafcet. Éstas se mandan a llamar desde el programa principal **Main** a través de un *Bloque subrutina* que se muestra en la Figura 4.12.

La descripción de las etapas y transiciones del tratamiento de agua pluvial se explican en el **Apéndice 8.2**.

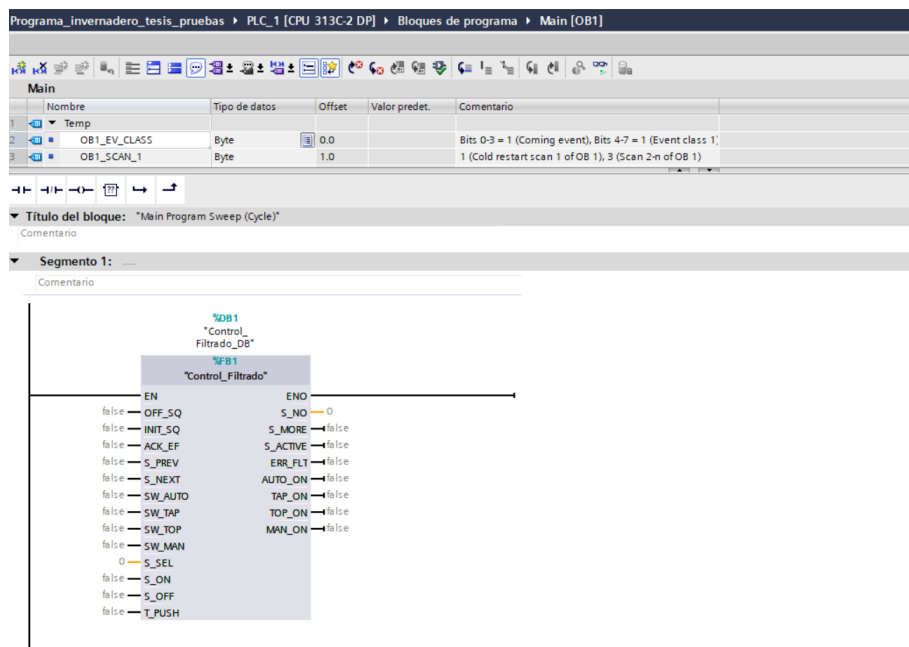


Figura 4.12: Bloque de subrutina donde se aloja el Grafcet del tratamiento de agua pluvial.

4.2. Automatización de los riegos para cultivo de hortalizas de hoja verde

Las hortalizas de hoja verde son aquellas cuyas partes comestibles son las hojas; los brotes tiernos y brotes de flores. Las más conocidas son: lechuga, escarola, repollo, coliflor, brócoli, perejil, apio, cilantro (curatú), espinaca, acelga, berro, albahaca, orégano, cebolla de verdeo, entre otras [52]. Durante primavera-verano el cultivo de las hortalizas requiere de gran cuidado debido a mayores requerimientos de agua en los días calurosos; su cuidado principal es evitar la falta de humedad o el exceso de agua.

4.2.1. Requerimientos

El objetivo de la programación de riegos es establecer los tiempos y duración en los que se tienen que realizar. Esto es: la cantidad de agua que se tiene que aplicar con el fin de cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, inclusive la duración cambia en relación a la etapa fenológica de la planta. La importancia de la planificación del riego se pone de manifiesto cuando el agua es un recurso escaso y, como consecuencia, su costo se comienza a elevar.

Consultando a un especialista en el tema (un agrónomo de la universidad de Chapingo) sugirió realizar tres riegos por día con el siguiente horario : 8:00 h. 13:00 h. y 18:00 h. Los riegos de las 8:00 y 18:00 h., son de nutriente, y el de las 13:00 h., es de agua.

En la Figura 4.13 se observa el diagrama de bloques que describe la acción que realiza el PLC S7-300. La *bomba 4* inyecta solución nutritiva al cultivo, mientras que la *bomba 3* inyecta agua pluvial tratada.

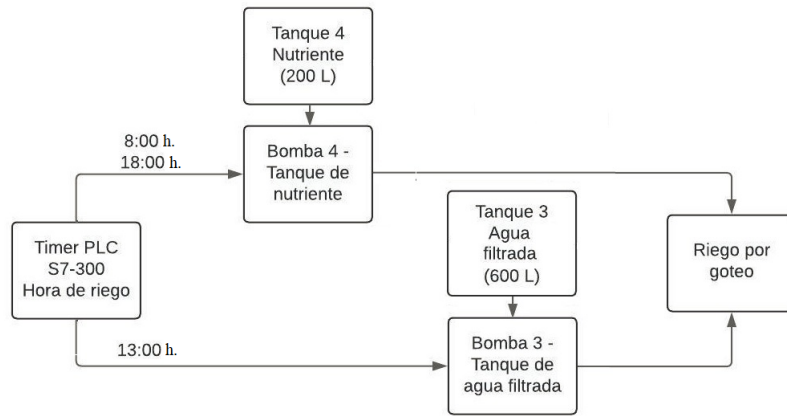


Figura 4.13: Diagrama de bloques del riego del invernadero.

4.2.2. Diseño de la automatización

Existen diferentes criterios para programar el riego [53]:

- **Programación puramente técnica;** determinando el volumen y el periodo de riego a lo largo del ciclo de un cultivo para lograr la producción máxima.
- **Programación económica;** buscando el máximo beneficio en la aplicación del agua. Para emplear alguno de estos criterios se debe conocer bien sobre la producción del cultivo.

Este trabajo de tesis se emplea una programación que busca optimizar el uso de agua (económica), utilizando la técnica de riego por goteo en los tiempos indicados por el especialista.

La automatización del riego se basa en el diagrama de flujo del algoritmo de riego que se muestra en la Figura 4.14. El *Timer* interno del PLC, activa los riegos del cultivo con nutriente o riegos de agua (sin nutriente), en horarios establecidos.

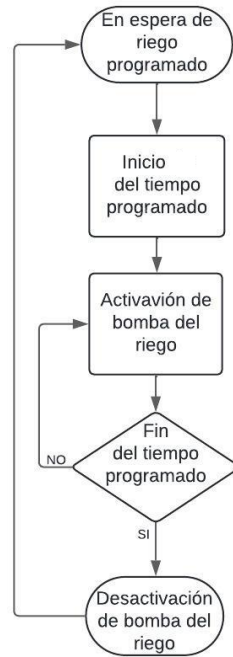


Figura 4.14: Diagrama de flujo de la programación del riego del cultivo.

4.2.3. Programación en TIA Portal

El primer paso fue utilizar un **Bloque de conversión** *Date_And_Time*, necesario para obtener la fecha y hora actuales (Figura 4.15).

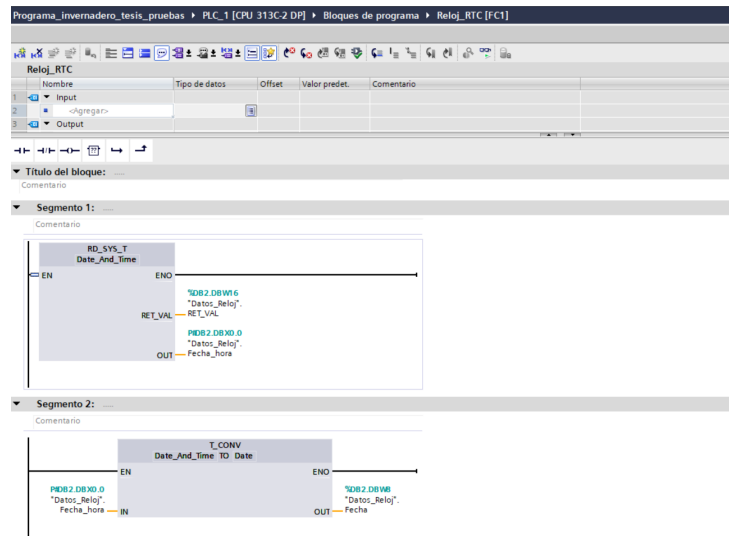


Figura 4.15: Bloque para obtener la fecha y hora.

Una vez conocida la fecha y hora, se programó el **segmento 6** para el riego de agua tratada (Figura 4.16).

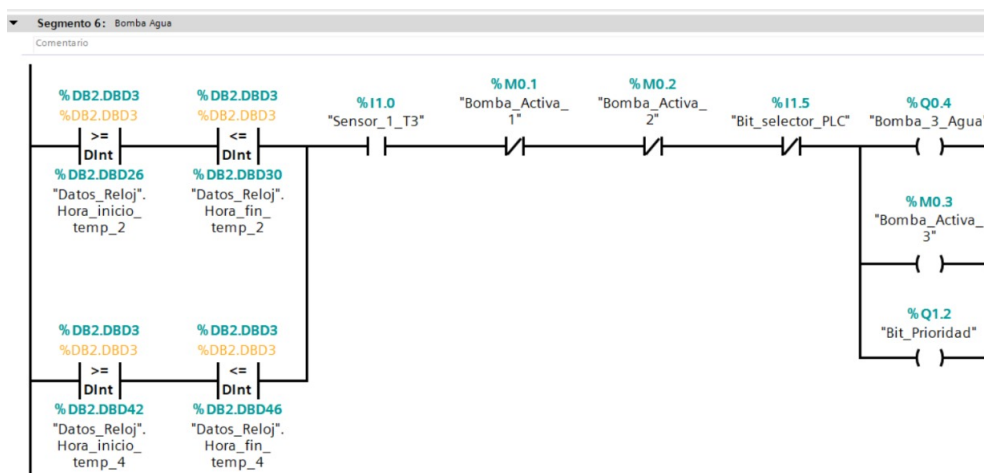


Figura 4.16: Diagrama de escalera para la activación del riego del cultivo (segmento 6).

Descripción del segmento 6. El primer contacto “Hora_inicio_temp_2” indica si es mayor o igual a la hora de inicio de riego programada, lo mismo para “Hora_inicio_temp_4”, mientras que el segundo contacto “Hora_fin_temp_2” indica si es menor o igual a la hora del fin de riego programado, lo mismo para “Hora_fin_temp_4”.

El contacto “Sensor_1_T3” se utiliza para indicar si el Tanque 3 contiene agua al menos en el nivel bajo; cumpliendo esto, se activa la salida “Bomba_3.agua” para iniciar el riego. La marca “Bomba_Activa_3” se creó debido a a que se requiere en otros segmentos de la programación para indicar que la bomba 3 está encendida y activar el “Bit_Prioridad”.

Para garantizar por software el adecuado funcionamiento del encendido de la bomba se agregaron contactos normalmente cerrados “Bomba_Activa.1” y “Bomba_Activa.2” ya que la energía de los módulos fotovoltaicos solo logran mantener activa una bomba a la vez.

El contacto “Bit_Selector_PLC” se agregó para realizar los riegos en automático o de forma manual.

Capítulo 5

Automatización de la ventilación del invernadero con el PLC Shneider

En este apartado se describe la automatización de la ventilación al interior del invernadero.

5.1. Requerimientos y arquitectura del sistema

5.1.1. Temperatura óptima para la producción de hortalizas de hoja verde

Las hortalizas deben tener una atención especial en primavera-verano, debido a que las altas temperaturas pueden dañar los cultivos, y como consecuencia destruir toda una cosecha si no se tienen en cuenta algunas recomendaciones [55].

En la producción de hortalizas bajo invernadero, es importante mantener un control de la temperatura en su interior. Para ello, es esencial contar con un termómetro analógico o digital que registre de manera continua las temperaturas durante el día y la noche.

En la Tabla 5.1 se muestran los valores de temperatura dentro de los cuales se deben cultivar distintas especies hortícolas.

Especies	T[°C] Mínima	T[°C] Óptima
Acelga	4	15-22
Albahaca	7	20-25
Lechuga	15	20
Pepino	10	25-30
Espinaca	14	15
Tomate	15	23-25
Poroto verde	15	22-28

Tabla 5.1: Temperaturas mínimas y óptimas para un buen desarrollo de hortalizas [56].

Para mantener una adecuada temperatura al interior del invernadero, se recomienda tener una buena ventilación en el día; esto se puede lograr simplemente abriendo las cortinas

del invernadero.

El tiempo adecuado para la apertura de las cortinas es durante la mañana, y para evitar que la radiación que se acumuló durante el día se disipe, provocando una disminución de temperatura en el interior, el cierre de cortinas debe hacerse siempre antes de la puesta de sol.

El manejo eficiente de la temperatura y humedad al interior de un invernadero tiene como consecuencia, mayores rendimientos, mejor calidad de las hortalizas y menor costo de producción, además de una menor incidencia de plagas y enfermedades [57].

5.1.2. Sensor de temperatura DS18B20

Para obtener la temperatura en el interior del invernadero, se colocaron dos sensores de la marca *DALLAS Semiconductor*, modelo *DS18B20*; uno al inicio de la primera cama del cultivo y el segundo aproximadamente a la mitad de la cama de cultivo, como se muestra en la Figura 5.1. El rango de medición de los sensores de temperatura es de -55°C a 125°C .



(a) Sensor colocado al inicio de la cama de cultivo. (b) Sensor colocado a la mitad de la cama de cultivo.

Figura 5.1: Ubicación de los sensores de temperatura *DS18B20* en las camas de cultivo.

Acondicionamiento y comunicación

Debido a que el sensor *DS18B20* utiliza un protocolo de comunicación **1-Wire** fue necesario conectarlo a un microcontrolador, por lo que se optó por una tarjeta electrónica **Arduino UNO**. En la Figura 5.2 se muestra la conexión eléctrica de los sensores al Arduino. Los cables de color rojo están conectados a la línea de alimentación del Arduino (5 V). Los cables de color negro se conectan a tierra (GND), y el tercer cable (color amarillo) se conecta al pin 9, haciendo la configuración conocida como *pull-up*, con una resistencia de $3.3\text{ K}\Omega$. El cable amarillo es la línea de *datos*; donde se transmite el valor de la temperatura de manera serial.

La temperatura representativa en el interior del invernadero se obtiene calculando la media aritmética (promedio) de los valores de los dos sensores. El código de programación se puede ver en el Apéndice 8.2.

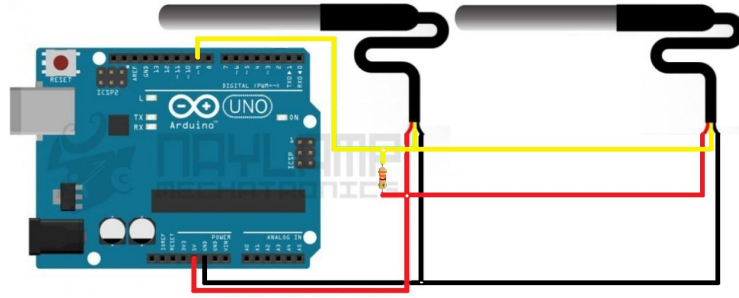
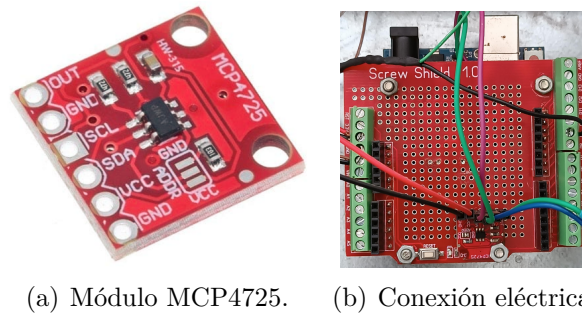


Figura 5.2: Conexión de sensores DS18B20 al Arduino UNO [58].

Por otro lado, para establecer la comunicación entre la tarjeta Arduino y el PLC S7-300, fue necesario el empleo del módulo *MCP4725* (Figura 5.3). Este dispositivo es un convertidor de señal digital a señal analógica (DAC, por sus siglas en inglés de *Digital-Analogic Converter*) que se comunica a través del protocolo **I2C**. Las terminales *OUT* y *GND* del módulo se conectaron a la entrada analógica del PLC, mientras que los pines *SCL*, *SDA*, *VCC* y *GND* se conectaron a la tarjeta Arduino, respectivamente.



(a) Módulo MCP4725. (b) Conexión eléctrica.

Figura 5.3: Conexión del módulo MCP4725 con la tarjeta Arduino.

5.1.3. Registro de temperaturas en el invernadero

En la Figura 5.4 se muestra el registro de las temperaturas obtenidas por los sensores *DS18B20*. Los valores se recopilaban del domingo 16 sábado 22 de marzo del 2025, el muestreo de temperatura se realizó cada 15 minutos.

En la gráfica se puede observar que el valor máximo de temperatura es de 35 °C y el valor mínimo de temperatura es de 7 °C. Estos valores se alcanzan alrededor de las 18:00 h. y 8:15 h., respectivamente.

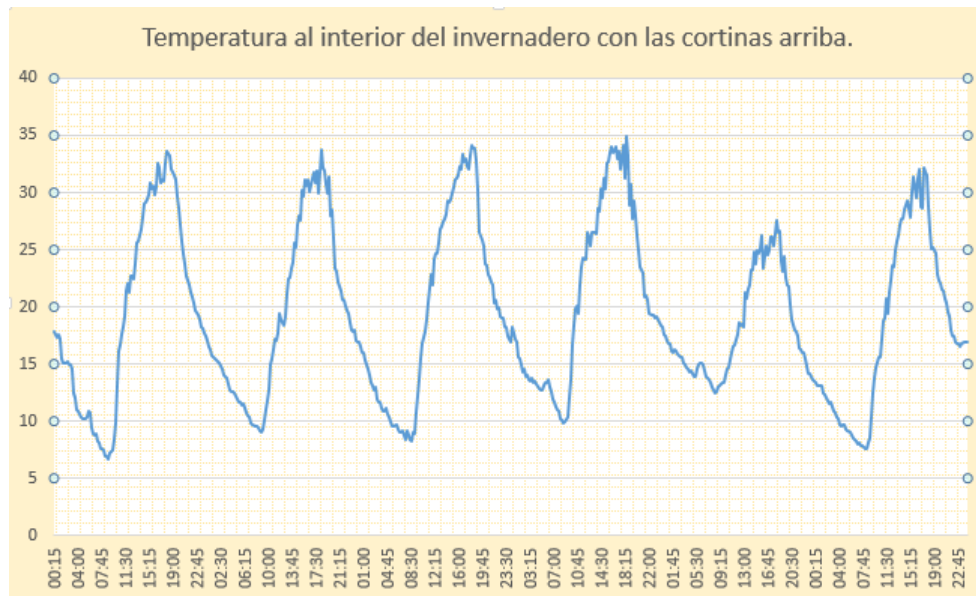


Figura 5.4: Registro de temperatura en el invernadero, Cortinas arriba.

5.1.4. Instrumentación de las cortinas del invernadero

El invernadero cuenta con tres cortinas en su interior, dos laterales con medidas de 5.28×2.00 m y una cortina ubicada en el fondo con medidas de 2.60×2.00 m. Las cortinas se mueven con un sistema mecánico de enrollamiento (Figura 5.5). Para limitar el recorrido de las cortinas se colocaron dos interruptores de *final de carrera*, ubicados en la parte superior e inferior de la cortina del fondo, como se observa en la Figura 5.6.



Figura 5.5: Cortinas laterales y cortina de fondo al interior del invernadero.

Para enrollar/desenrollar las cortinas, se instaló un pequeño malacate con cable galvanizado de $1/8$ " conectado a un motor monofásico reversible de la marca *Gearmotor* de $1/2$ Hp, además de unas poleas en la parte superior del invernadero (Figura 5.7).



Figura 5.6: Ubicación de los interruptores de *final de carrera*.



(a) Sensor de final de carrera.



(b) Motor adaptado a un malacate.

Figura 5.7: Interruptor de final de carrera y motor+malacate.

5.1.5. Instalación de ventiladores

En la parte superior del interior del invernadero, se colocaron dos ventiladores de la marca *Mytek* de 20" de diámetro, alimentados a 127 V en AC (125 W). El primero se ubica en la parte frontal del invernadero; direccionado hacia el interior y el segundo se ubica en la parte trasera direccionado hacia el exterior (Figura 5.8).

La justificación de colocar los ventiladores en la parte superior del invernadero se debe a que es el área donde se concentra el aire caliente. El direccionamiento del ventilador frontal permite el ingreso de aire fresco, mientras que el ventilador trasero extrae el aire caliente, favoreciendo una circulación de aire.



(a) Ventilador frontal.



(b) Ventilador trasero.

Figura 5.8: Ventiladores ubicados en la cúspide del invernadero.

5.2. Diseño de la automatización

Para establecer una temperatura adecuada para el cultivo se implementó un *gabinete de control*. La función de este gabinete es enrollar/desenrollar las cortinas y activar/desactivar los ventiladores de manera automática para mantener la temperatura del invernadero dentro del rango adecuado.

Una de sus características es que tanto las cortinas y ventiladores se pueden operar de manera manual a través de un selector.

5.2.1. Diagrama eléctrico y gabinete de control

Para operar el malacate y ventiladores se diseñó el diagrama eléctrico que se muestra en la Figura 5.9. En la primera parte se tiene el contacto **K11** que activa la función del sistema *Manual/Automático* (símbolo *P_Auto*). Enseguida, se tienen los contactos **H11** y **H12** asociados al giro del motor del malacate (símbolo *Cort*). Finalmente, se tienen los contactos **K14** y **K15** para accionar los ventiladores (símbolos *M_Vent1* y *M_Vent2*).

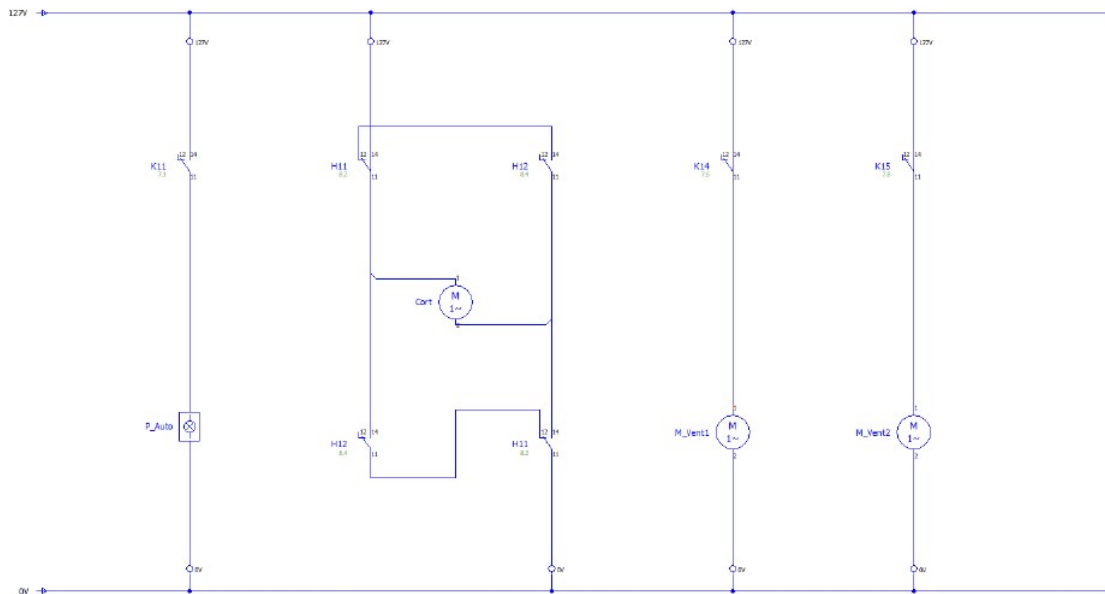
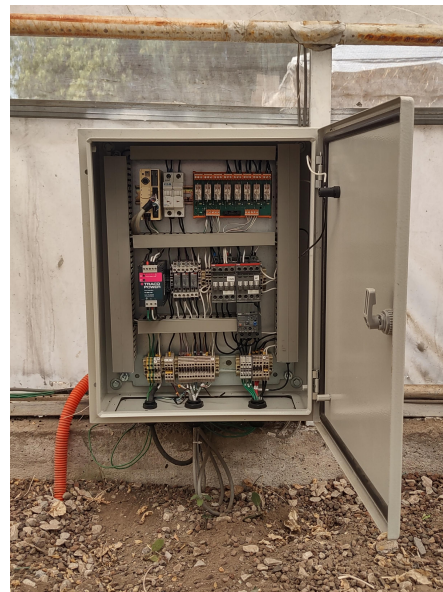


Figura 5.9: Diagrama eléctrico para accionar el malacate y ventiladores.

El gabinete de control se colocó en la parte inferior sobre la estructura lateral del invernadero (Figura 5.10 (a)).



(a) Ubicación del gabinete.



(b) Vista del interior del gabinete.

Figura 5.10: Gabinete de control para la ventilación del invernadero.

En el armado del gabinete, el espacio se distribuyó en tres secciones descritas a continuación:

- **En la parte superior:** Se colocó el PLC de la marca *Schneider* modelo *TWDLMDA20DTK* con su módulo de conexiones a relevador de la marca *Weidmüller* y un

interruptor termomagnético de dos polos de la marca *EATON* para la protección del PLC y los motores (malacate y ventiladores).

- **En la parte central:** Se colocó una fuente de alimentación de 24 V de la marca *TRACO POWER*, empleada para alimentar el PLC. Tres relevadores *ABB* de 24 V y dos contactores *ABB* de 100/250 V en AC. En uno de los contactores está conectado un protector bimetalico de sobrecarga térmica *ABB* gama *TF42* para la protección del motor del malacate.
- **En la parte inferior:** Se colocaron bloques de clemas donde se conectaron: la alimentación del sistema (línea de 127 V AC y neutro), las E/S del PLC, las líneas de alimentación del malacate (ascenso y descenso de las cortinas), los ventiladores (encendido y apagado) y el relevador del piloto indicador de modo automático.

En las clemas correspondientes a las entradas *I0,3* e *I0,4* del PLC, se conectaron los interruptores de final de carrera inferior y superior, respectivamente.

5.2.2. Modo de operación Automático/Manual

El sistema de ventilación del invernadero puede operar en diferentes modos de operación. Para ello se colocó una botonera a un costado de la puerta de ingreso al área de cultivo (Figura 5.11). La botonera tiene dos pulsadores del tipo *NA*, un interruptor de palanca y un selector de tres estados para contar con tres modos de operación: *Manual*, *Automático* o *Apagado* (OFF),



Figura 5.11: Botonera selectora de la operación del sistema de ventilación.

La operación automática del sistema se consigue al colocar el selector en la posición *Automático*, esta se basa en la cadena de bloques mostrada en la Figura 5.12. El procesamiento de la información se lleva a cabo en el PLC S7-300 de tal manera que en el momento en que la lectura de la temperatura esté fuera del rango de 15°C a 20°C (valor mínimo y óptimo indicado en la Tabla 5.1), se activará una señal para que el PLC Schneider active el sistema de ventilación.



Figura 5.12: Diagrama de bloques en el modo Automático del sistema de ventilación.

Para saber si el sistema está en modo *Automático*, el gabinete tiene un indicador de color verde (Figura 5.13). Al iluminarse, el PLC realizará las acciones de subir/bajar las cortinas y prender/apagar los ventiladores, de acuerdo con la programación realizada.



Figura 5.13: Piloto automático.

La operación manual del sistema se consigue al colocar el selector en la posición *Manual*. En este modo se pueden subir/bajar las cortinas con los pulsadores marcados como "subir" o "bajar" y/o encender/apagar los ventiladores con el interruptor de palanca.

Si se requiere realizar un mantenimiento sin apagar el sistema de tratamiento de agua y/o riegos, se puede apagar el sistema de ventilación colocando el selector en OFF.

5.3. Programación en TwidoSuite

El software empleado para programar el PLC Schneider, modelo *TWDLMDA20DTK*, es el TwidoSoft V3.5 [43]. Es un software dedicado para programar los PLC de la serie Twido, abierto a múltiples redes de comunicación.

El algoritmo de operación del sistema se describe en el diagrama de flujo de la Figura 5.14. Cuando se mide una temperatura superior a la programada ($T \geq 20^{\circ}\text{C}$) el PLC S7-300 le envía la señal al PLC Schneider para que energice los ventiladores y suba las cortinas (giro ascendente). Por el contrario, cuando se mide una temperatura inferior al valor programado ($T \leq 15^{\circ}\text{C}$), los ventiladores se apagarán y las cortinas bajarán (giro descendente).

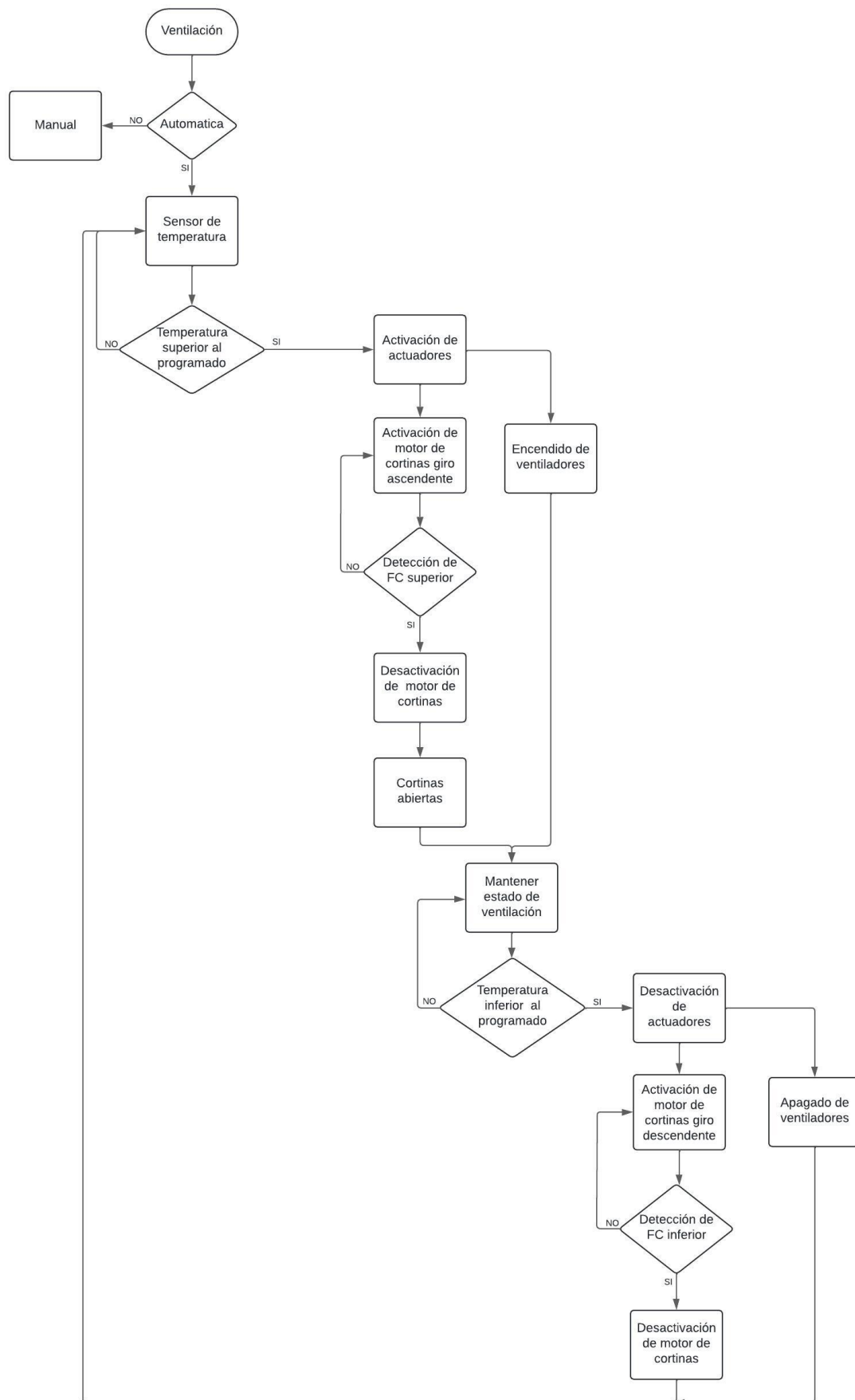


Figura 5.14: Diagrama de flujo de la ventilación.

5.3.1. Lenguaje de programación

La programación se realizó usando el lenguaje Ladder Logic o lenguaje de escalera (Figura 5.15). Antes de realizar la programación del algoritmo, se definen las variables a utilizar; son 17 variables, de las cuales 12 son entradas y 5 son salidas.

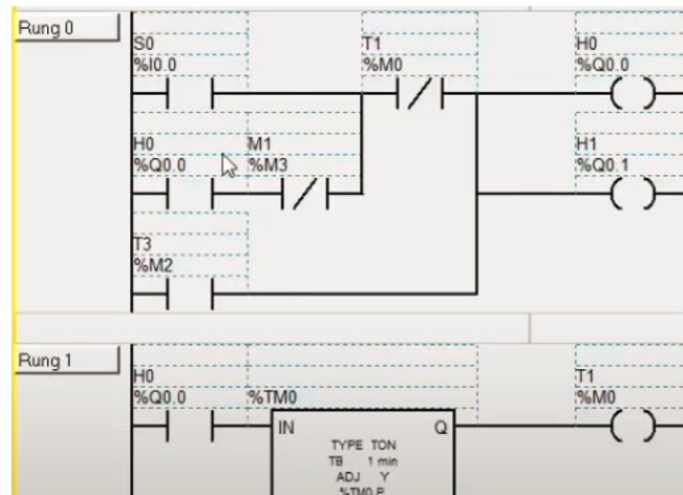


Figura 5.15: Lenguaje escalera en el software TwidoSuite.

En la tercera columna, de la Figura 5.16, denominada **Símbolo** se observan los nemonicos empleados. A continuación, se describe cada uno de ellos.

Uso	Dirección	Símbolo	Utilizado por	Filtrado	Guardado	¿Run/Stop?	Evento	Alta prioridad	Número SR
☒	%I0.0	MAN	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.1	UP	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.2	DOWN	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐	No utilizado	☐	
☒	%I0.3	FC_INF	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐	No utilizado	☐	
☒	%I0.4	FC_SUP	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐	No utilizado	☐	
☒	%I0.5	VENT_ON_BOT	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐	No utilizado	☐	
☒	%I0.6	VENT_S7300	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.7	VENT_S71200	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.8	CORT_S7300	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.9	CORT_S71200	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.10	BP	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			
☒	%I0.11	AUTO	Lógica aplicación	3 ms	☐	☐			

Uso	Dirección	Símbolo	¿Estado	Utilizado por
☒	%Q0.0	PILOTO	☐	Lógica aplicación
☒	%Q0.1	M_UP	☐	Lógica aplicación
☒	%Q0.2	M_DOWN	☐	Lógica aplicación
☒	%Q0.3	M_VENT1	☐	Lógica aplicación
☒	%Q0.4	M_VENT2	☐	Lógica aplicación
☐	%Q0.5			
☐	%Q0.6			
☐	%Q0.7			

Figura 5.16: Definición de las variables.

MAN se refiere al modo Manual/Automático, **UP** para la elevación de las cortinas y **DOWN** para su descenso.

Para los interruptores finales de carrera de las cortinas, se definió **FC_INF** para el inferior y **FC_SUP** para el superior.

VENT_ON_BOT es para el encendido de los ventiladores desde la botonera.

VENT_S7300 es para el encendido de los ventiladores, y **CORT_S7300** para la activación de las cortinas desde el PLC S7-300.

PILOTO es para el encendido del piloto indicador que está en el gabinete. **M_UP** es para la activación del motor en giro ascendente (subir cortinas), y **M_DOWN** para la activación del motor en giro descendente (bajar cortinas).

M_Vent1 y **M_VENT2** para los ventiladores.

La programación completa del sistema de ventilación en el software TwidoSuite se explica en el Apéndice 8.2.

Capítulo 6

Resultados

En la Figura 6.1 se muestra un esquema general del invernadero con la integración de cada etapa del sistema, además en el Apèndice 8.3 se agrega la Tabla 8.2 de presupuesto del material que conforma el sistema de captaciòn de agua, la automatizaciòn e instrumentaciòn del invernadero.

El sistema inicia con la captaciòn de agua pluvial dirigida hacia un sistema de canaletas y tuberías que la conducen al tanque de almacenamiento. Una vez recolectada, esta pasa por un proceso de tratamiento. El agua tratada se almacena para el uso de riego con y sin nutriente. Posteriormente el riego por goteo se realiza de forma automàtica. El lixiviado es el agua que drena después de regar las plantas, esta es recolectada para su tratamiento y por ùltimo su reutilizaciòn, cerrando así el ciclo del agua.

Las cortinas laterales del invernadero ayudan a regular la entrada de aire, luz solar y temperatura interna. Los ventiladores proporcionan ventilaciòn forzada, ayudando a mantener una temperatura estable y evitando acumulaciòn de humedad o enfermedades.

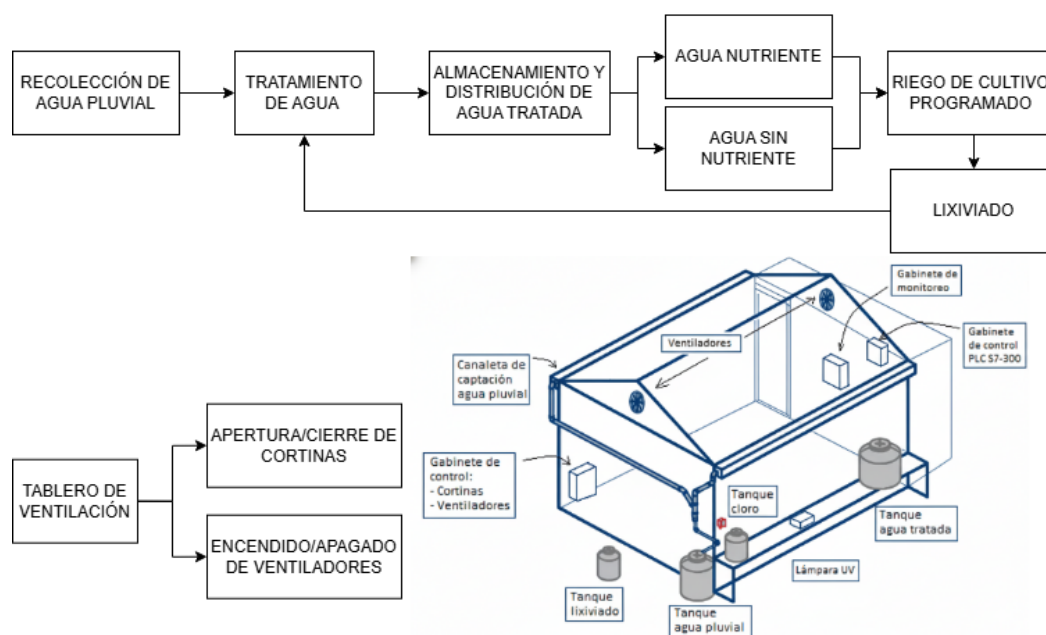


Figura 6.1: Esquema general de los sistemas que componen el invernadero.

Con el montaje de las canaletas a los costados del invernadero, la instalación de tuberías para la conducción del líquido y la colocación del tanque de almacenamiento, se logró captar y almacenar 400 litros de agua pluvial en días lluviosos (Figura 6.2). Un punto importante consistió en colocar una malla en la parte superior de las canaletas (como filtro) para evitar el ingreso de lagartijas, ramas y hojas de los árboles aledaños.



Figura 6.2: Sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial.

El tratamiento de agua pluvial automatizado con el PLC S7 300 se realizó adecuadamente cumpliendo con los estándares que marca la norma. Las etapas del tratamiento fueron *Pretratamiento*, *Tratamiento primario*, *Tratamiento secundario I*, *Tratamiento secundario II* y *Tratamiento terciario* (Figura 6.3).



Figura 6.3: Tinacos y tambo utilizados en las etapas del Sistema de tratamiento de agua.

Los resultados del análisis químico del agua pluvial tratada mostraron valores por debajo que del agua potable para los parámetros *pH*, *Cloro*, *Salinidad*, *Dureza*, *Calcio*, *Nitrato* y *Metales* (Tabla 3.2).

La programación del algoritmo de riego fue adecuado para obtener un buen crecimiento del cultivo de acelgas, como se muestra en la Figura 6.4. Se obtuvo una cosecha en un tiempo normal de 3 meses; el crecimiento de hojas fue constante y abundante.

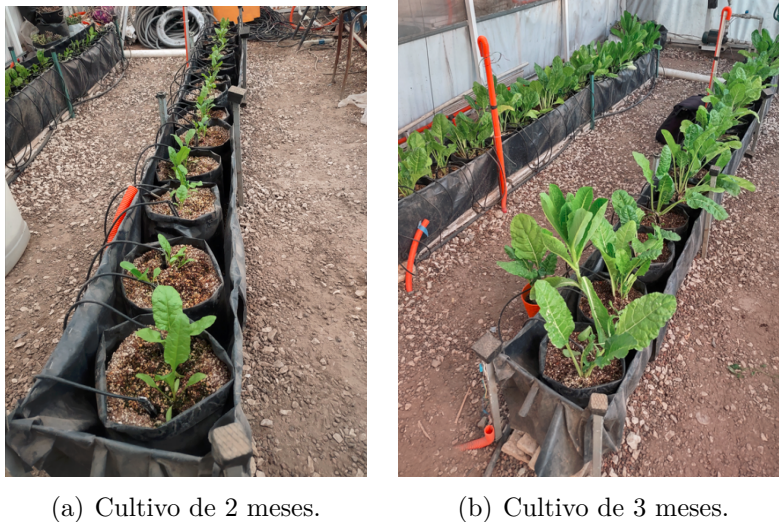


Figura 6.4: Cultivo de 60 plantas de acelgas, con 2 plantas por maceta.

Con la instrumentación (instalación de sensores de nivel), se logró monitorear el nivel de llenado de líquido en el depósito, tanque y tinacos. Conocer el estado de llenado de los diferentes contenedores en el proceso de tratamiento de agua pluvial fue crucial para la realización de la automatización del sistema.

Además, con la colocación de pilotos indicadores en el *Tablero de monitoreo* (Figuras 4.6 y 4.7), el usuario puede conocer, de manera visual, el estado de llenado de cada contenedor.

El riego del cultivo se realizó satisfactoriamente en los tiempos establecidos, condicionado a que el riego tiene prioridad ante el tratamiento de agua pluvial. Esto es, si el sistema está realizando el tratamiento de agua, este se detendrá para realizar el riego en el tiempo indicado.

El número de E/S del PLC S7-300, modelo *313-6CG04-0AB0* (16 Entradas Digitales / 16 Salidas Digitales) fueron suficientes para el correcto funcionamiento del tratamiento de agua pluvial y riego del cultivo; se utilizaron 16 entradas y 11 salidas digitales.

El sensor de temperatura, modelo *DS18B20* fue adecuado para medir la temperatura en el interior del invernadero. El DAC MCP4725 realizó correctamente la conversión de la señal digital de los sensores de temperatura al valor analógico adecuado para la entrada del módulo *SM331* (AI 2x12Bits) del PLC.

El sistema de ventilación automatizado con el PLC Shneider, modelo *TWDLMDA20DTK*, funcionó de manera correcta. El movimiento de cortinas (subir/bajar) y activación de ventiladores operó sin contratiempos.

La instalación de una botonera para la selección del modo *Automático* o *Manual* fue muy conveniente para la realización de pruebas y mantenimientos.

Aunque el sistema de ventilación funcionó de acuerdo a las condiciones programadas para mantener una temperatura adecuada para el cultivo, la temperatura en el interior del invernadero no mejoró para los valores superiores de temperatura. Esto se puede observar en la Figura 6.5, el registro se tomó del 29 de marzo al 3 de abril del 2025, con un muestreo de cada 15 minutos.

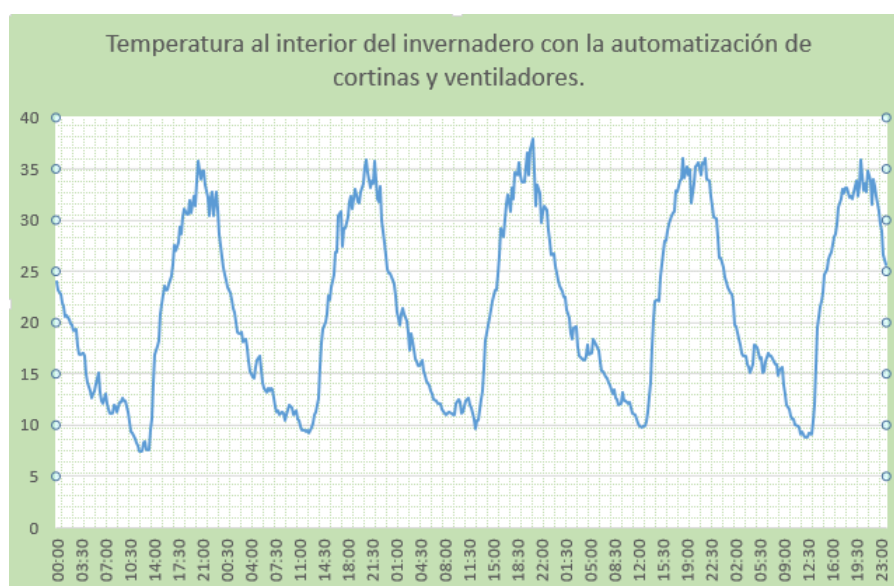


Figura 6.5: Registro de temperatura en el invernadero, Movimiento de cortinas y activación de ventiladores.

Comparando los registros de temperatura de la Figura 6.5 con la Figura 5.4, se observa que el valor de temperatura mínimo, en la mayoría de los días, fue de 9 °C en lugar de 7 °C. Sin embargo, con el sistema de ventilación, la temperatura máxima fue de 38 °C; 3 grados mayor que sin el sistema de ventilación. Otro efecto en la temperatura, debido al movimiento de las cortinas, fue el corrimiento en el horario de los valores de temperatura. Por ejemplo, los valores mínimos fueron alrededor de las 12:30 en lugar de las 8:30 horas.

Referente a los lenguajes de programación, la programación del sistema de tratamiento de agua pluvial se realizó en los lenguajes de programación escalera (ladder) y Grafcet empleando el software TIA Portal. Para el sistema de ventilación, la programación se realizó con el lenguaje de escalera en el software TwidoSuite.

Capítulo 7

Conclusiones

Objetivo particular 1. El diseño del sistema de captación fue realizado acorde a la estructura del invernadero, la colocación de dos canaletas captadoras a los costados del techo del invernadero fueron adecuadas. El diámetro de los tubos de PVC fue suficiente para guiar el agua pluvial al tanque de almacenamiento.

En la temporada de lluvias, entre los meses de junio y septiembre, el tanque recolector de 400 litros se logró llenar en un día de lluvia; aunque no siempre fue de esta manera, el tiempo de llenado varió alrededor de uno a tres días, dependiendo de la intensidad de la lluvia.

Objetivo particular 2. El sistema de tratamiento de agua pluvial y la instalación de los sensores de nivel de llenado de líquido, se implementaron correctamente. La automatización se realizó con el PLC S7-300 de la marca *SIEMENS*.

El empleo del lenguaje escalera (ladder) y Grafcet en el software TIA Portal facilitó la programación del riego para el cultivo por *segmentos* y el tratamiento de agua pluvial en *etapas* y *transiciones*.

Los resultados del análisis químico del agua pluvial tratada, indicaron que las cinco etapas realizadas (*Pretratamiento*, *Tratamiento primario*, *Tratamiento secundario I*, *Tratamiento secundario II* y *Tratamiento terciario*) fueron suficientes para obtener agua favorable para el riego del cultivo.

La presencia de cloro en agua pluvial tratada fue nula cuando se agregaron 20 gotas de cloro (tratamiento primario) y 0.1 ppm de cloro cuando se le agregaron 40 gotas. En ambos casos, el cultivo de acelgas no presentó ningún cambio visual notorio; las hortalizas continuaron con un adecuado crecimiento y una producción de hojas abundantes.

Objetivo particular 3. El riego del cultivo se ejecutó correctamente en horarios e intervalos establecidos en la programación, de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo. Su integración con el tratamiento de agua pluvial se realizó de manera adecuada. La prioridad del riego fue verificada cuando, al estar realizando el tratamiento de agua, el sistema se detuvo y se inició el riego del cultivo a la hora señalada; posteriormente, el tratamiento de agua pluvial continuó su operación normal.

Objetivo particular 4. Se diseñó e instaló un sistema de ventilación para el invernadero hidropónico de manera satisfactoria. Esto con la finalidad de mantener una temperatura adecuada en su interior. Este consistió en el accionamiento de cortinas que se mueven con un sistema mecánico de enrollamiento (subir/bajar) y el encendido/apagado de ventiladores.

Objetivo particular 5. La automatización del sistema de ventilación se realizó de manera adecuada con el PLC de la marca *Schneider*, modelo *TWDLMDA20DTK*, usando el lenguaje de programación escalera (ladder) en el software TwidoSuite.

El funcionamiento se programó de acuerdo a las siguientes condiciones: para una temperatura mayor o igual a 20°C, se realizó la apertura de cortinas y encendido de los ventiladores. Por el contrario, para una temperatura menor a 15°C, las cortinas se cerraron y los ventiladores se apagaron.

Aunque el sistema de ventilación operó adecuadamente, no se logró mantener la temperatura en los rangos óptimos de crecimiento, indicados en la Tabla 5.1. Esto se debe a que los ventiladores recirculan el aire de manera local; esto es, en el día no se logra ingresar aire fresco por el ventilador 1 y tampoco se extrae el aire caliente por el ventilador 2, provocando, en promedio, un aumento en la temperatura al interior del invernadero: las cortinas mantuvieron el calor térmico. Este efecto también provocó que el valor mínimo de temperatura aumentara. Además, se observó un corrimiento de 4.0 horas en los valores de la temperatura con la automatización del sistema.

Comentarios finales. El diseño e implementación del invernadero autosustentable ubicado en el plantel San Lorenzo Tezonco es una propuesta que integra herramientas de la ingeniería para mejorar y aprovechar los recursos naturales, además de mejorar la calidad y hacer más eficiente el proceso de producción de los cultivos.

Además, integrar tecnologías innovadoras en prácticas agrícolas tradicionales, fomentan un futuro más adaptable y productivo.

Entre las ventajas identificadas para utilizar un PLC en un invernadero hidropónico se encuentran: el monitoreo de las condiciones climáticas, la automatización del riego y la ventilación, y la disminución de mano de obra.

Gracias a la automatización, los agricultores pueden ajustar de manera precisa las condiciones internas del invernadero, garantizando un entorno ideal para el crecimiento del cultivo.

Los invernaderos automatizados se han convertido en una solución viable para el suministro de alimentos y plantas ornamentales, contrastando así el excesivo consumo de recursos naturales. Su capacidad para adaptarse a diferentes entornos y condiciones climáticas los convierte en una herramienta versátil que puede implementarse en diversas regiones del mundo, desde zonas áridas hasta áreas con climas menos templados.

Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas, la implementación de invernaderos automatizados autosustentables enfrenta varios desafíos. La inversión inicial en tecnología y equipamiento puede ser alta, lo que podría ser una barrera para pequeños agricultores o comunidades con recursos limitados, además de que, se requiere personal calificado y con los conocimientos necesarios para operar los sistemas de automatización.

Capítulo 8

Apéndice

8.1. Especificaciones

A1. PLC Schneider TWDLMDA20DTK [59]



Base modular PLC, Twido, alimentación 24vcc, 12 entradas, 24 entradas con 24 vcc, 8 salidas estado solido (fuente)

TWDLMDA20DTK

! No se fabrica

! Descatalogado desde el: 18 dic 2023

Principal

Gama del producto	Twido
Tipo de producto o componente	Controlador base modular
número de E/S digitales	20
número de entrada digital	12
lógica de entrada digital	Fregadero o fuente
tensión de entrada digital	24 V
tipo de voltaje entrada discreto	CC
número de salidas discretas	8 para transistor - tipo de cable: fuente)
[Us] Tensión nominal de alimentación	24 V CC
Número máximo de módulos de expansión de E/S	4
ranuras libres	2
Uso de la ranura	Cartucho memoria 32 K y 1 reloj tiempo real

A2. PLC Siemens S7-300

© Siemens AG 2010

SIMATIC S7-300 Central processing units

Standard CPUs

Overview CPU 317-2 PN/DP



- The CPU with a large program memory and quantity framework for demanding applications
- For cross-sector automation tasks in series machine, special machine and plant construction
- Used as central controller in production lines with central and distributed I/O
- High processing power in binary and floating-point arithmetic
- Distributed intelligence in Component Based Automation (CBA) on PROFINET
- PROFINET proxy for intelligent devices on PROFIBUS DP in Component Based Automation (CBA)
- PROFINET I/O Controller for operating distributed I/O on PROFINET
- PROFINET interface with 2-port switch
- Combined MPI/PROFIBUS DP master/slave interface
- For comprehensive I/O expansion
- For configuring distributed I/O structures
- Isochronous mode on PROFIBUS
- Optionally supports the use of SIMATIC engineering tools

SIMATIC Micro Memory Card required for operation of CPU.

Technical specifications

	6ES7 312-1AE14-0AB0	6ES7 314-1AG14-0AB0	6ES7 315-2AH14-0AB0	6ES7 315-2EH14-0AB0	6ES7 317-2EK14-0AB0
Product-type designation	CPU 312	CPU 314	CPU 315-2 DP	CPU 315-2 PN/DP	CPU 317-2 PN/DP
Product version					
associated programming package	STEP 7 > V 5.4 + SP5 or STEP 7 as of V5.2 + SP1 with HSP 176	STEP 7 > V 5.4 + SP5 or STEP 7 as of V5.2 + SP1 with HSP 175	STEP 7 > V 5.4 + SP5 or STEP 7 as of V5.2 + SP1 with HSP 177	STEP 7 > V 5.4 + SP5 or STEP 7 as of V5.4 + SP4 with HSP 189	STEP 7 > V 5.4 + SP5 or STEP 7 as of V5.4 + SP4 with HSP 189
Supply voltages					
Rated value					
• 24 V DC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
• permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	20.4 V	20.4 V	20.4 V	20.4 V
• permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	28.8 V	28.8 V	28.8 V	28.8 V
external protection for supply cables (recommendation)	Min. 2 A	Min. 2 A	Min. 2 A	Min. 2 A	Min. 2 A
Current consumption					
Current consumption (rated value)	650 mA	650 mA	850 mA	750 mA	750 mA
Current consumption (in no-load operation), typ.	140 mA	140 mA	150 mA	150 mA	150 mA
Inrush current, typ.	3.5 A	3.5 A	3.5 A	4 A	4 A
I _q	1 A ² s	1 A ² s	1 A ² s	1 A ² s	1 A ² s
from supply voltage L+, max.	650 mA	650 mA	900 mA		
Power loss					
Power loss, typ.	4 W	4 W	4.5 W		
Memory					
Work memory					
• integrated	32 Kibyte; For program and data	128 Kibyte; For program and data	256 Kibyte	384 Kibyte	1 Mbyte
• expandable	No	No	No	No	No

A3. Tarjeta electrónica Arduino UNO



Arduino® UNO R3

Features

- **ATMega328P Processor**
 - **Memory**
 - AVR CPU at up to 16 MHz
 - 32 kB Flash
 - 2 kB SRAM
 - 1 kB EEPROM
 - **Security**
 - Power On Reset (POR)
 - Brown Out Detection (BOD)
 - **Peripherals**
 - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
 - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
 - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
 - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
 - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
 - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
 - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
 - Six PWM channels
 - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
 - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
 - 16 kB ISP Flash
 - 512B EEPROM
 - 512B SRAM
 - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
 - 2.7-5.5 volts





MCP4725

12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6

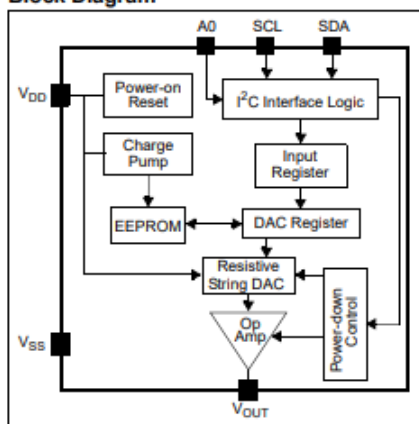
Features

- 12-Bit Resolution
- On-Board Non-Volatile Memory (EEPROM)
- ± 0.2 LSB DNL (typical)
- External A0 Address Pin
- Normal or Power-Down Mode
- Fast Settling Time of 6 μ s (typical)
- External Voltage Reference (V_{DD})
- Rail-to-Rail Output
- Low Power Consumption
- Single-Supply Operation: 2.7V to 5.5V
- I²C™ Interface:
 - Eight Available Addresses
 - Standard (100 kbps), Fast (400 kbps), and High-Speed (3.4 Mbps) Modes
- Small 6-lead SOT-23 Package
- Extended Temperature Range: -40°C to +125°C

Applications

- Set Point or Offset Trimming
- Sensor Calibration
- Closed-Loop Servo Control
- Low Power Portable Instrumentation
- PC Peripherals
- Data Acquisition Systems

Block Diagram



DESCRIPTION

The MCP4725 is a low-power, high accuracy, single channel, 12-bit buffered voltage output Digital-to-Analog Converter (DAC) with non-volatile memory (EEPROM). Its on-board precision output amplifier allows it to achieve rail-to-rail analog output swing.

The DAC input and configuration data can be programmed to the non-volatile memory (EEPROM) by the user using I²C interface command. The non-volatile memory feature enables the DAC device to hold the DAC input code during power-off time, and the DAC output is available immediately after power-up. This feature is very useful when the DAC device is used as a supporting device for other devices in the network.

The device includes a Power-On-Reset (POR) circuit to ensure reliable power-up and an on-board charge pump for the EEPROM programming voltage. The DAC reference is driven from V_{DD} directly. In power-down mode, the output amplifier can be configured to present a low, medium, or high resistance output load.

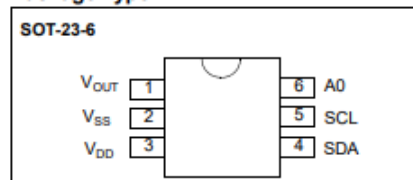
The MCP4725 has an external A0 address pin. This A0 pin can be tied to V_{DD} or V_{SS} of the user's application board.

The MCP4725 has a two-wire I²C™ compatible serial interface for standard (100 kHz), fast (400 kHz), or high speed (3.4 MHz) mode.

The MCP4725 is an ideal DAC device where design simplicity and small footprint is desired, and for applications requiring the DAC device settings to be saved during power-off time.

The device is available in a small 6-pin SOT-23 package.

Package Type



A5. Sensor de temperatura DS18B20



DALLAS
SEMICONDUCTOR

PRELIMINARY

DS18B20

Programmable Resolution

1-Wire® Digital Thermometer

www.dalsemi.com

FEATURES

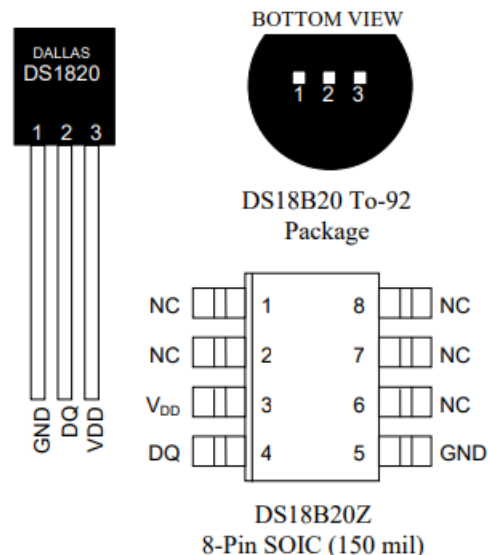
- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- $\pm 0.5^\circ\text{C}$ accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

A6. Medidor electrónico EZ-9909sp

FICHA TÉCNICA

5 EN 1 MULTIPARAMETRO PH, TDS, EC, SAL, TEMP



El monitor de calidad del agua es una herramienta profesional de bolsillo, kit de prueba ideal y útil para probar el PH/TDS/EC/SALINIDAD/TEMP del nivel de solución. Perfecto para usos domésticos y laboratorios, como en bebidas, incubadoras de peces, procesamiento de alimentos, acuario, fotografía, laboratorio, control de calidad, hidropónicos, alimentos, vino y cerveza para uso en escuelas y colegios.

DATO GENERAL.

- Marca: YINMIK
- Modelo: EZ9909
- Cod. Int.: 21900

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Preciso y fiable: para lograr una alta precisión, equipado con una sonda de aleación de titanio de calidad superior y una compensación automática de temperatura fiable (ATC) garantiza que la lectura sea precisa a varias temperaturas.

Fácil e instantáneo: solo enciende el medidor 5 en 1 y remueve el agua suavemente, entonces las lecturas estabilizadas se mostrarán en LCD en segundos, y el medidor de PH, TDS, EC, Salinidad y Temperatura, se apagará automáticamente si no funciona durante más de 5 minutos.

Función de retención y función de apagado automático: congela la medida para visualizarla fuera del agua. Apaga el medidor después de 5 minutos de no usar para conservar las baterías.

ESPECIFICACIONES:

Rango de medición:	PH: 0,01-14,00pH; TDS: 1-10000ppm; 10.1 a 200ppt CE: 1-10000µS/cm; 10.01-19.99mS/cm; 20.1-400mS/cm Salinidad: 0.01% a 25.00% Temp: 0-60.0°C / 32.0 a 140.0°F
Resolución:	PH: 0,01pH TDS: 1ppm; 0.1ppt EC: 1µS/cm; 0.1mS/cm. Salinidad: 0.01% Temp: 0,1 °C; 0,1 °F
Precisión:	PH: +/- 0,05pH TDS/CE: +/-2%F.C. Salinidad: 0.01-5.00% (+/-0.1%); 5.10-25.00% (+/-1%) Temperatura: +/-0,5 °C
Baterías:	3*1,5 V LR44 de botón de la célula
Condiciones de trabajo :	Temp: 0.1°C -60,0 °C Humedad: 100%HR
Calibración automática :	PH: tres puntos PH(6,86 y 4,00 y 9.18pH); TDS/CE/SAL: 1413µS/cm; 12.88mS/cm; 111.8mS/cm



PESO Y TAMAÑO

- Tamaño: 183 x 37 x 37 mm
- Peso : 90 g

CONTENIDOS DEL PAQUETE

- 1 x 5 en 1 Multiparametro.
- 1 x manual en inglés.
- 3 x Búfer de 3 * ph.

RPC : 992033492

Web: www.grupocym.pe Correo: comercial@grupocym.pe

8.2. Programación de los PLCs

B1. Programación de las etapas del tratamiento de agua pluvial en Grafset (TIA Portal)

La programación en Grafset consiste en cinco etapas y trece transiciones.

Lo primero que se realiza es resetear las salidas y las marcas en la etapa 1 (Step 1), como se muestra en la Figura 8.1.

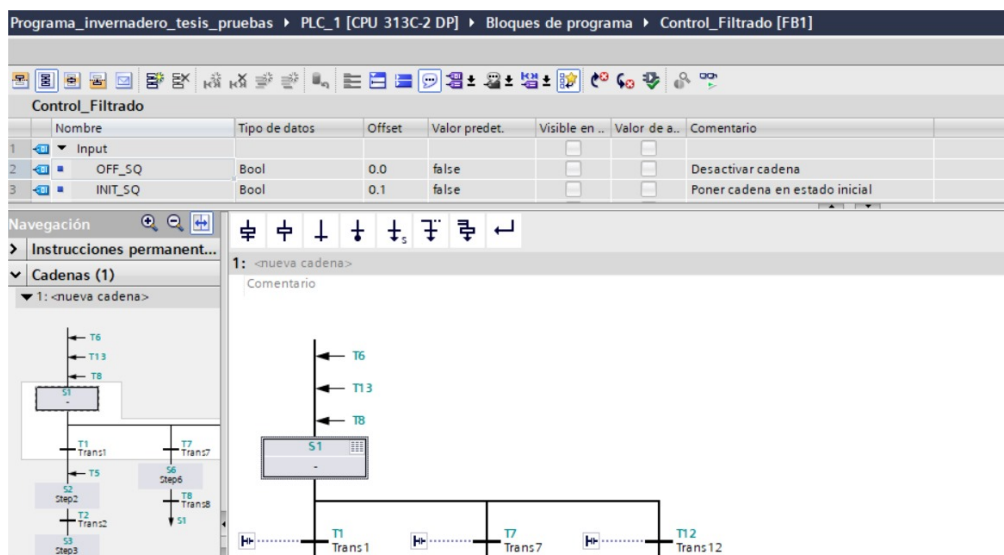


Figura 8.1: Reseteo de salidas y marcas del Diagrama Grafset.

En la Figura 8.2 se muestra de la etapa 2 a la etapa 5, etapa 6, etapa 9 y sus respectivas transiciones.

La etapa 2 (Step2) consiste en el inicio del ciclo; la bomba 1 (sumergible) se activa siempre y cuando el sensor 2 del tanque de agua pluvial esté activo (Trans1). En la etapa 3 (Step3) se encuentra el temporizador de cloro que comienza a verter en el tanque 2 la cantidad establecida de cloro (etapa de cloración), si el sensor de cloro está desactivado (Trans2). En la etapa 4 (Step4) se realiza el ciclo de filtrado y llenado del tanque 3 (tanque de agua tratada); siempre y cuando el sensor 3 esté desactivado (Trans3). En la etapa 5 (Step5), se encuentra la desactivación de la bomba 2, cuando el sensor 1 del tanque 2 se desactive (Trans4). Además, se cuenta con un temporizador de retardo a la desconexión para que el tanque 2 se vacíe correctamente.

En la transición 5 (Trans5), se encuentran las siguientes condiciones: si el sensor 2 del tanque 1 se encuentra activo y el sensor 3 del tanque 3 está desactivado, entonces se repetirá el proceso, a partir de la etapa 2 (Step 2).

En la transición 6 (Trans6) se evalúa si el sensor 3 del tanque 3 se encuentra activo (tanque lleno) para regresar al Step 1.

Preparación de nutriente Cuando en el tanque 4 se active el sensor 1 (nivel bajo), se activará la alarma de preparar nutriente; transición 7 (Trans7). En la transición 8 (Trans8) se encuentra el sensor 3 que indicará cuando el tanque 4 esté lleno; un contacto normalmente abierto está asociado a un botón externo para indicar que el nutriente está listo, entonces se vuelve al Step 1.

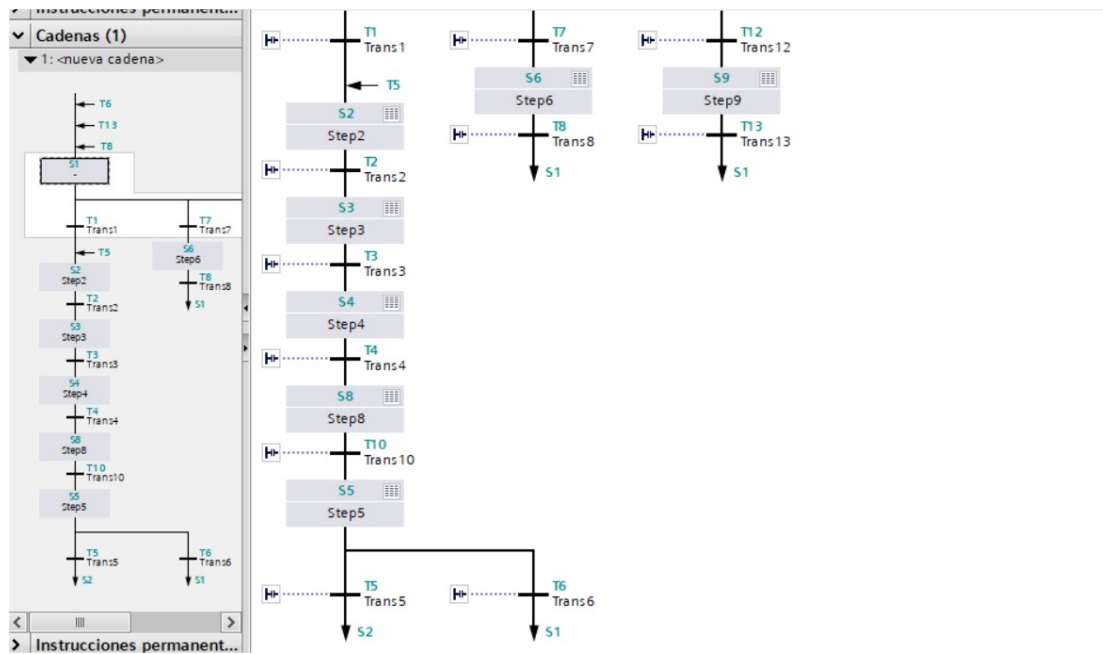


Figura 8.2: Diagrama Grafcet para el filtrado de agua pluvial, parte 2.

Vaciado del tanque de lixiviado En la etapa 9 (Step9) se encuentra la activación de la bomba para vaciar y filtrar el tanque de lixiviado (tanque 5) si el sensor 2 se activa (Trans12). En la transición 13 (Trans13) se encuentra el sensor 1 que indica cuando el tanque 5 se encuentra vacío, entonces vuelve al Step 1.

B2. Programación del sistema de ventilación en TwidoSuite

El lenguaje de programación usado fue el de escalera (ladder).

En el peldaño cero (Rung0) se muestra la operación en modo *manual* (Figura 8.3). Esta se activa al colocar el selector de la botonera ¹ en la posición **Manual**. Este modo permite que las cortinas se enrollen al presionar el pulsador etiquetado como **Subir** (UP), hasta que se activa el elemento final de carrera (FC_SUP). El cierre de las cortinas se realiza desde el botón pulsador etiquetado como **Bajar** (DOWN), hasta que se activa el elemento final de carrera (FC_INF).

Además, en este modo se permite el encendido y apagado de los ventiladores desde el interruptor externo etiquetado como **Ventiladores**.

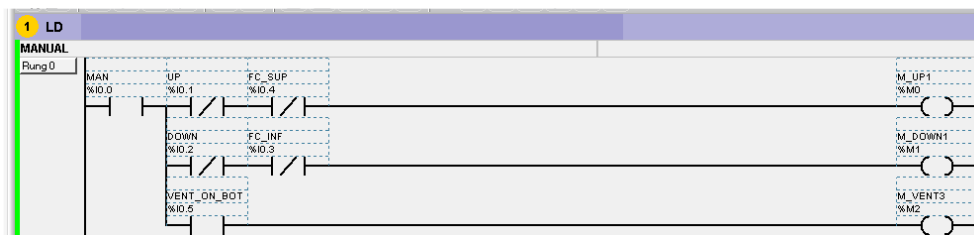


Figura 8.3: Programación de sistema de ventilación en modo manual.

En la Figura 8.4 se observa parte del programa en modo automático de las cortinas. En el peldaño 1 (Rung1) está el contacto CORT_S7300 y el temporizador TEMP1. Este activará el giro ascendente del motor hasta que se desactive el elemento final de carrera (FC_SUP). En el peldaño 2 (Rung2) está el contacto CORT_S7300 y el temporizador TEMP2. Este activará el giro descendente del motor hasta que se desactive el elemento final de carrera (FC_INF).

Los temporizadores son de retardo a la conexión (TON, por las siglas en inglés de *Timer On Delay*), ambos con un tiempo de 1 segundo.

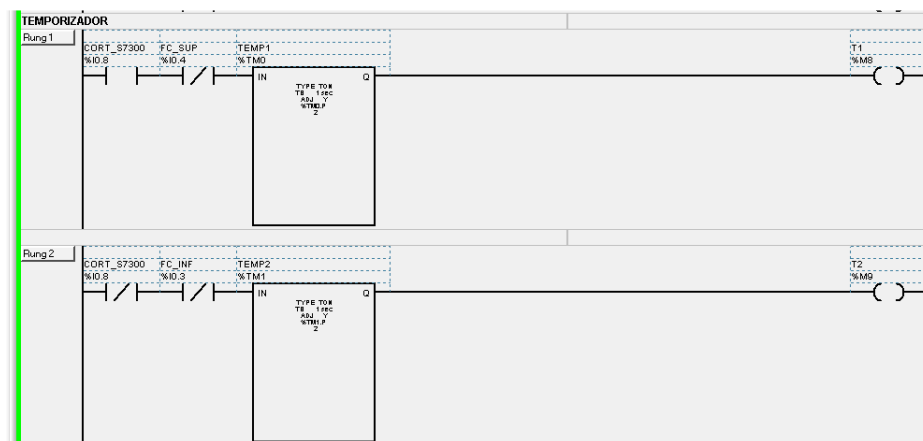


Figura 8.4: Activación de las cortinas con temporizador.

¹Se instaló una botonera en el que se encuentran dos pulsadores, un selector de tres pasos indicando la selección “Manual”, “Apagado” o “Automático” y un interruptor de un paso dos tiros indicando el “ON” y “OFF” de los ventiladores.

En la Figura 8.5 se observa el peldaño 3 (Rung3), que es la continuación del modo *automático* del movimiento de las cortinas. En este modo se activa el piloto (PILOTO) instalado en el gabinete.

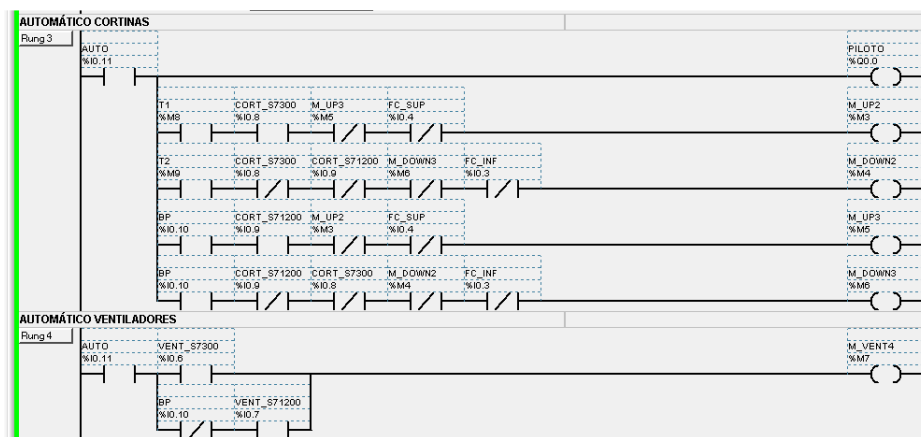


Figura 8.5: Programación del modo *automático* de las cortinas y ventiladores.

En el peldaño 4 (Rung4) de la Figura 8.5 se observa la sección automática de los ventiladores. Su activación desde el PLC S7300 se realiza con el contacto NA VENT_S7300.

En la Figura 8.6 se observan las salidas que activan el movimiento de las cortinas y la activación de los ventiladores. En el peldaño 5 (Rung5) está la activación del ascenso de las cortinas (M_UP); el modo *manual* se activa con el contacto M_UP1, y el modo *automático* (PLC S7-300) con el contacto M_UP2.

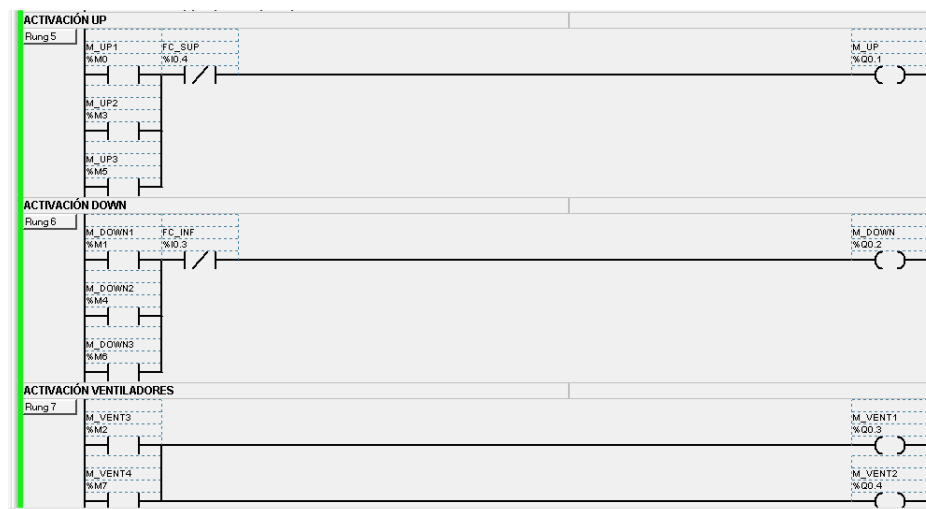


Figura 8.6: Programación para subir/bajar las cortinas y activación de ventiladores.

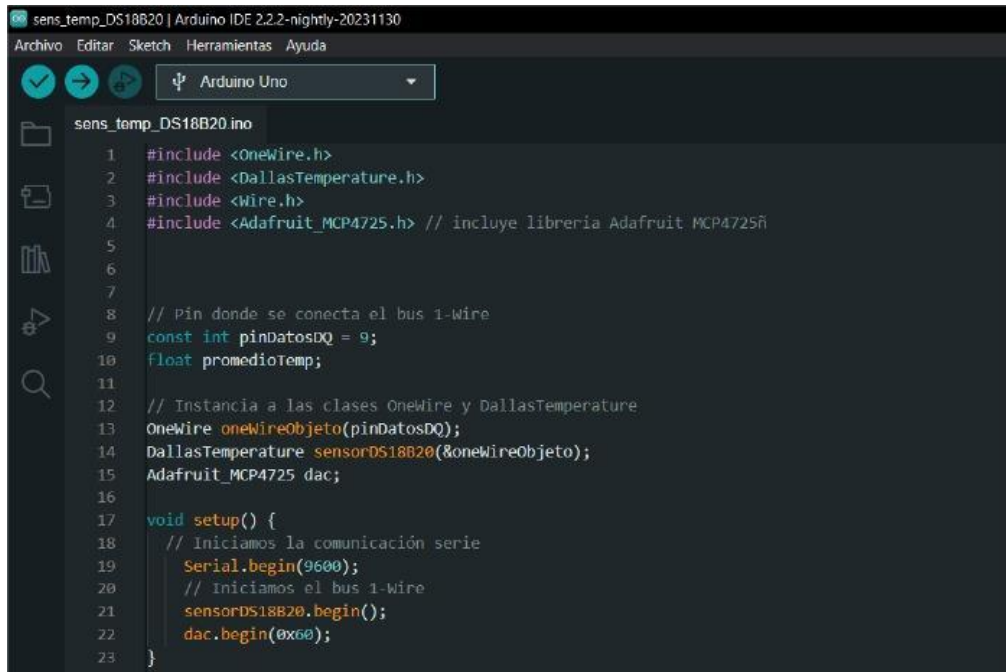
Posteriormente, en el peldaño 6 (Rung6) está la activación del descenso de las cortinas (M.DOWN); el modo *manual* se activa con el contacto M.DOWN1, y el modo *automático* (PLC S7-300) con el contacto M.DOWN2.

Por último, en el peldaño 7 (Rung7) está la activación de los ventiladores, estos se activan en el modo *manual* o *automático* con los contactos M_VENT3 y M_VENT4.

B3. Código de programación para obtener la temperatura con Arduino UNO

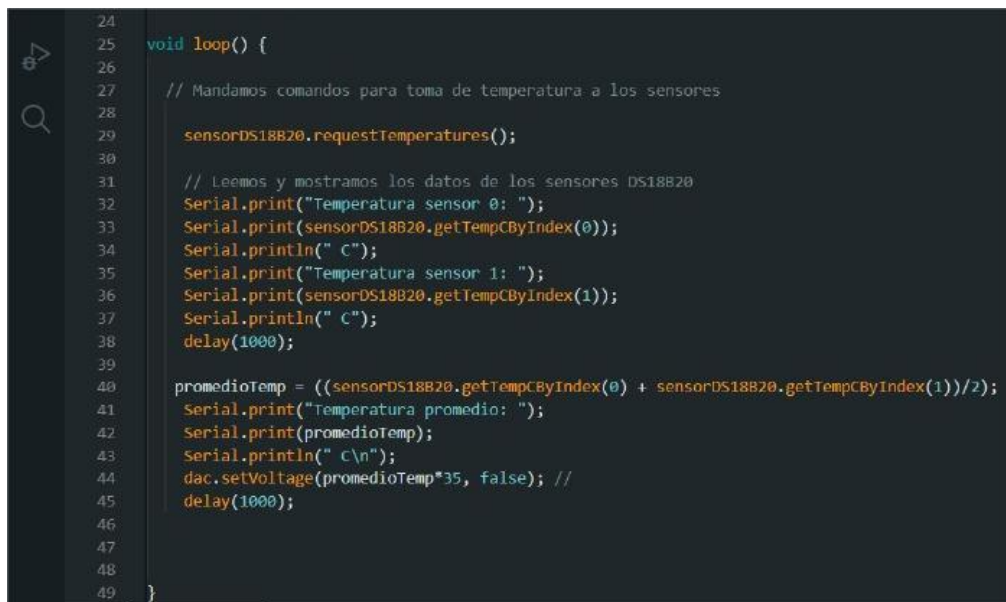
Este programa calcula el promedio de las temperaturas de los dos sensores que están en el invernadero.

El programa utiliza las librerías *OneWire.h*, *DallasTemperature.h*, *Wire.h* y *Adafruit_MCP4725.h*.



```
sens_temp_DS18B20 | Arduino IDE 2.2.2-nightly-20231130
Archivo  Editor  Sketch  Herramientas  Ayuda
ψ  Arduino Uno
sens_temp_DS18B20.ino
1  #include <OneWire.h>
2  #include <DallasTemperature.h>
3  #include <Wire.h>
4  #include <Adafruit_MCP4725.h> // incluye libreria Adafruit MCP4725
5
6
7
8  // Pin donde se conecta el bus 1-Wire
9  const int pinDatosDQ = 9;
10 float promedioTemp;
11
12 // Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
13 OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
14 DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
15 Adafruit_MCP4725 dac;
16
17 void setup() {
18   // Iniciamos la comunicación serie
19   Serial.begin(9600);
20   // Iniciamos el bus 1-Wire
21   sensorDS18B20.begin();
22   dac.begin(0x60);
23 }
```

Figura 8.7: Programa para la temperatura, parte 1.



```
24
25 void loop() {
26
27   // Mandamos comandos para toma de temperatura a los sensores
28
29   sensorDS18B20.requestTemperatures();
30
31   // Leemos y mostramos los datos de los sensores DS18B20
32   Serial.print("Temperatura sensor 0: ");
33   Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
34   Serial.println(" C");
35   Serial.print("Temperatura sensor 1: ");
36   Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(1));
37   Serial.println(" C");
38   delay(1000);
39
40   promedioTemp = ((sensorDS18B20.getTempCByIndex(0) + sensorDS18B20.getTempCByIndex(1))/2);
41   Serial.print("Temperatura promedio: ");
42   Serial.print(promedioTemp);
43   Serial.println(" C\n");
44   dac.setVoltage(promedioTemp*35, false); //
45   delay(1000);
46
47
48
49 }
```

Figura 8.8: Programa para la temperatura, parte 2.

8.3. Presupuesto del sistemas de ventilación y del sistema de tratamiento de agua pluvial

A. Gabinete Cortinas-Ventiladores				
Descripción de los materiales.	Cantidad.	Unidad.	C.U.	Monto.
Gabinete metálico IP65 40x30x20 [cm] y platina.	1	Pieza	\$714.00	\$714.00
Canaletas 2×1".	2	Metro	\$145.00	\$290.00
PLC Schneider + Módulo a relevador (usados).	1	Pieza.	\$1,000.00	\$1,000.00
Interruptores termomagnéticos de 1A y 3A.	2	Pieza	\$75.00	\$150.00
Fuente de voltaje para PLC de 24 V.	1	Pieza	\$891.00	\$891.00
Relevadores encapsulados y bases ABB.	3	Pieza	\$120.00	\$360.00
Contactores industriales ABB, AWG 16-22.	2	Pieza	\$564.98	\$1,129.96
Relevador de protección bimetalico ABB, AWG 16-22.	1	Pieza	\$395.70	\$395.70
Clemas de conexión AWG 18-22.	29	Pieza	\$18.75	\$543.75
			Total	\$5,474.41
B. Cortinas y Ventiladores				
Descripción de los materiales.	Cantidad.	Unidad.	C.U.	Monto.
Motor monofásico bidireccional (usado).	1	Pieza	\$380.00	\$380.00
Malacate + coples y trabajo en torno.	1	Pieza	\$400.00	\$400.00
Tubo de Pvc 2", hidráulico de 6 m.	2	Tramo	\$590.00	UACM
Cable galvanizado con alma de acero de 1/8", 9 hilos.	1	Metro	\$300.00	UACM
Interruptores de fin de carrera.	2	Pieza	\$55.00	\$110.00
Ventiladores de piso de 3 vel., 64 cm (20").	2	Pieza	\$908.00	\$1,816.00
Plástico para invernadero color blanco.	8	Metro	\$40.00	\$320.00
Botonera industrial para tres pulsadores.	1	Pieza	\$108.00	\$108.00
Selector de tres pasos de 22 mm	1	Pieza	\$180.00	\$180.00
			Total	3,314.00

Tabla 8.1: I. Presupuesto para la implementación del sistema de ventilación.

C. Gabinete de control del sistema de tratamiento de agua				
Descripción de los materiales.	Cantidad.	Unidad.	C.U.	Monto.
Gabinete de plástico IP65 ABB 22x20.5x14 [cm].	1	Pieza.	\$1,190.00	\$1,190.00
Canaleta ranurada 25x40 [cm].	1	Metro.	\$135.00	\$135.00
Riel perforado DIN 35X7.5 [cm].	1	Metro.	\$80.00	\$80.00
PLC S7-300 Siemens.	1	Pieza.	\$10,906.00	UACM
Clemas de conexión AWG 18-22	7	Pieza.	\$18.74	\$131.18
Total				\$1,536.18
D. Captación y sistema de tratamiento de agua pluvial				
Descripción de los materiales.	Cantidad.	Unidad.	C.U.	Monto.
Canaletas galvanizadas 15 × 10 × 200 [cm].	4	Pieza.	\$450.00	\$1,800.00
Soporte de canaletas de 1".	6	Metro.	\$179.00	\$1,074.00
Tubo PVC 4" de 6 m + 2 codos 45° + Y.	1	Metro.	\$475.00	\$475.00
Tanque de agua pluvial de 400 L.	1	Pieza.	\$1,600.00	\$1,600.00
Bomba sumergible HC-010 de 127 V AC.	1	Pieza.	\$310.00	\$310.00
Tanque de cloro de 5 L.	1	Pieza.	\$40.00	\$40.00
Bomba peristáltica p/cloro de 12 V DC.	1	Pieza.	\$163.00	\$163.00
Tanque de cloración de 80 L.	1	Pieza.	\$250.00	\$250.00
Lámpara UV + sistema de filtros.	1	Pieza.	\$1,165.00	\$1,165.00
Tinaco tricapa Rotoplas de 500 L.	1	Pieza.	\$2,500.00	\$2,500.00
Medidor de pH electrónico EZ-9909SP.	1	Pieza.	\$431.00	\$431.00
Tiras reactivas para medir pH con 20 pzas.	1	Paquete.	\$98.74	\$98.74
Caja de cable AWG 16 con 100 m.	1	Caja.	\$300.00	\$300.00
Total				\$10,206.74
E. Gabinete de monitoreo de niveles de agua				
Descripción de los materiales.	Cantidad.	Unidad.	C.U.	Monto.
Gabinete metálico IP65 40 × 30 × 20 y platina.	1	Pieza.	\$714.00	\$714.00
Canaleta ranurada 25x40 [mm].	1	Metro.	\$145.00	\$145.00
Tarjeta electrónica acondicionadora de pilotos.	1	Pieza.	\$282.50	\$282.50
Arduino UNO y shield de terminales.	1	Pieza.	\$145.00	\$145.00
Fuente de 9 V. para Arduino UNO.	1	Pieza.	\$100.00	\$100.00
Contacto montable para riel DIN.	1	Pieza.	\$50.00	\$50.00
Relevadores de 5V (Común, NA y NC).	3	Pieza.	\$15.00	\$45.00
Clemas de conexión AWG 18-22.	20	Pieza.	\$18.75	\$375
Riel perforado DIN 35x7.5 [mm].	1	Metro.	\$80.00	\$80.00
Pilotos LED de 22 mm, 24 V.	17	Pieza.	\$16	\$274.00
Flotadores sumergibles con interruptor.	13	Pieza.	\$55.00	\$715.00
Sensores de temperatura DS18B20, 5 V.	2	Pieza.	\$31.00	\$62.00
Módulo MCP4725.	1	Pieza.	\$35.00	\$35.00
Total				\$3020.50
Gran total				\$23,269.33

Tabla 8.2: II. Presupuesto para la implementación del sistema de tratamiento de agua pluvial.

Bibliografía

- [1] BOLETÍN UNAM-DGCS-002, *Investigadores de la UNAM proponen convertir invernaderos en secadores solares de alimentos*, 20 de octubre 2022, https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_002.html#:~:text=En%20promedio%2C%20el%2075%20por,alimentos%2C%20flores%20y%20plantas%20medicinales.
- [2] AGRICULTURA MUNDIAL: HACIA LOS AÑOS 2015/2030. ISBN 92-5-304761-5
- [3] FEPEX, *II Congreso Inversolar: invernaderos solares instrumento eficaz y sostenible para alimentar a una población en continuo crecimiento*, 25 de octubre 2022, <https://tinyurl.com/be4vh5m2>.
- [4] ALAN STEIN & NANCY VIRTIS (2020), *The Conservatory: Gardens Under Glass*, Princeton Architectural Press, United States.
- [5] *¿Dónde y cómo se construyó el primer invernadero del mundo?*, 21 de septiembre 2018, <https://agriplasticscommunity.com/es/donde-y-como-se-construyo-el-primer-invernadero-del-mundo>.
- [6] NOVAGRIC, *Invernaderos Automatizados e Inteligentes*, 20 de octubre 2022, <https://www.novagric.com/es/invernaderos-automatizados-inteligentes>.
- [7] NOTIMEX/JRGA, *Politécnicos diseñan invernadero hidropónico automatizado*, 20 de octubre 2022, <https://digitalpost.com.mx/universidades/politecnicos-disenan-invernadero-hidroponico-automatizado/>.
- [8] INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, *Tesis: Control y automatización de un sistema de bombeo de un invernadero para el desarrollo, cultivo e investigación de flora*, Junio 2011.
- [9] EN FUNCIONAMIENTO EL PRIMER INVERNADERO INTELIGENTE, 17 de enero 2016, <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2016/11/17/en-funcionamiento-el-primer-invernadero-inteligente>.

- [10] ADN40, UNAM crea invernadero inteligente para producción de jitomate, 16 de junio 2020, <https://www.adn40.mx/noticia/internacional/notas/2018-06-18-10-18/unam-crea-invernadero-inteligente-para-produccion-de-jitomate>.
- [11] NUEVO SISTEMA DE RIEGO EFICIENTE PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN INVERNADEROS, 31 de marzo 2015, <https://www.gob.mx/imta/articulos/nuevo-sistema-de-riego-eficiente-para-la-produccion-agricola-en-invernaderos>.
- [12] ¿SON SOSTENIBLES LOS INVERNADEROS?, 6 de enero 2022, <https://theconversation.com/son-sostenibles-los-invernaderos-173921>.
- [13] SUSTENTABILIDAD: QUÉ ES, DEFINICIÓN, CONCEPTO, PRINCIPIOS Y TIPOS, 8 de enero 2022, <https://responsabilidadsocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/>
- [14] GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA., Enero 2001, <https://ecotec.unam.mx/documentos-ecoteca/guia-de-diseno-para-captacion-de-agua-de-lluvia>.
- [15] DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 30 DE NOVIEMBRE 1995, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866379&fecha=18/01/1996#gsc.tab=0.
- [16] GUÍA TÉCNICA PARA EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA, 2018, Bolivia: Proyecto de Cooperación Triangular México, Bolivia y Alemania.
- [17] DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HUERTO URBANO, 26 de marzo 2021, Ciudad de México, UACM.
- [18] INVEUROP CONTROLLING THE CLIMATE, 9 de junio 2023, <https://inveurop.com/es/temperatura-ideal-para-cada-cultivo-de-invernadero/>.
- [19] ING. MARLLELIS GUTIÉRREZ, PhD. Y EL ING. SADI ITURRALDE, MSc. (2017) *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Editorial UPSE, <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+básico+de+instrumentación+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>.
- [20] RAMÓN PALLÁS ARENY, (2005), *Sensores y Acondicionadores de señal*, Editorial MARCOMBO.

- [21] NOVELEC, 21 DE SEPTIEMBRE 2023, *Finales de carrera: Qué son y características principales*, <https://blog.gruponovelec.com/blog/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>.
- [22] CARROD ELECTRÓNICA, 2014, *Sensor de Temperatura a Prueba de Agua DS18B20*, Carrod Electrónica Online, <https://www.carrod.mx/products/sensor-de-temperatura-ds18b20>
- [23] UNIVERSIDAD DE CANTABRIA INICIO, *Tema 8. Convertidores digital-analógico (D/A) y analógico-digital (A/D)*, https://personales.unican.es/manzanom/Planantiguo/EDigitalII/Tema_VIII.pdf.
- [24] FERRETRÓNICA 2024, *Modulo Conversor Digital a Analogo 12 Bits DAC MCP4725*, <https://ferretronica.com/products/modulo-conversor-digital-a-analogo-12-bits-dac-mcp4725>.
- [25] ZACH DEMEYER, 10 DE NOVIEMBRE 2017, *Uno — Una visión general de la computadora de placa única más popular de Arduino*, Arrow, <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-product-overview>.
- [26] GRUPO COBOSA, (2024), *¿Para qué sirven las bombas de agua?*, <https://www.cobosa.com.mx/para-que-sirven-las-bombas-de-agua/>.
- [27] HOMCENTER, *Conozca los tipos de bombas de agua y sus funciones*, <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/content/potencia-para-sistemas-hidraulicos-con-bombas-perifericas/>.
- [28] STEKNOS, 16 DE FEBRERO, 2024, *Bombas sumergibles: qué son y para qué se utilizan en la industria*, <https://steknos.es/blog/bombas-sumergibles-que-son-para-que-se-utilizan#:~:text=Una%20bomba%20sumergible%20es%20un,encuentran%20inmersas%20hacia%20el%20exterior..>
- [29] AXFLOW, *Bombas Peristálticas*, <https://www.axflow.com/es-es/catalogar/productos/bombas/bombas-peristalticas>.
- [30] BBVA, *Filtro de agua y cuáles son sus beneficios*, <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/blog/que-es-un-filtro-de-agua.html#:~:text=¿Qué%20es%20un%20filtro%20de,un%20proceso%20biol%20gico%20o%20qu%20mico..>
- [31] FUNDACIÓN RED DE ENERGÍA BUN-CA. MARZO, 2019, *Motores Eléctricos*, Diseño Editorial S.A. <https://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2019/02/Motores.pdf>.

- [32] SENSORGO, (2024), *¿Qué son los instrumentos de medición y por qué debes implementarlos en tu empresa?*, <https://sensorgo.mx/que-son-los-instrumentos-de-medicion-y-por-que-debes-implementarlos-en-tu-empresa#:~:text=Los%20instrumentos%20de%20medici%20se%20encargan%20de%20capturar%20los%20datos,La%20seguridad%20del%20personal..>
- [33] JESSICA ANNE LAWSON Y PRATIBHA MISTRY, 13 DE JULIO 2017, *¿Cómo examinar la calidad del agua? Existen pruebas químicas que se pueden hacer cuando los presupuestos son limitados*, Banco Mundial, <https://blogs.worldbank.org/es/voices/como-examinar-la-calidad-del-agua>.
- [34] GOBIERNO DE ARAGÓN, *Exposición de equipos antiguos: pHmetro*, <https://www.aragon.es/-/laboratorio-agroambiental-equipos-antiguos-phmetro#:~:text=Los%20medidores%20de%20pH%20potenciom%20tricos,el%20valor%20de%20pH%20correspondiente..>
- [35] ROKER, 17 DE MAYO 2019, *Guía sobre los interruptores termomagnéticos*, <https://www.roker.com.ar/productos-instrucciones/guia-sobre-los-interruptores-termomagneticos/#:~:text=Los%20interruptores%20termomagn%20tricos%20son%20dispositivos,a%20sobrecargas%20y%20cortocircuitos%20el%20tricos..>
- [36] NIVIHE, *Contactores: ¿Qué son y para qué sirven?*, <https://motores-electricos.com.ar/contactores-que-son-y-para-que-sirven/>.
- [37] SDI (2022), *¿Qué son los relevadores y cómo funcionan?*, <https://sdindustrial.com.mx/blog/relevadores/#:~:text=¿Qu%20son%20los%20relevadores%3F,este%20mismo%20tipo%20de%20energ%20>
- [38] FINDER, 25 DE MAYO 2021, *Finder, 25 de Mayo 2021*, <https://www.findernet.com/es/mexico/news/para-que-sirve-un-relevador/>.
- [39] LOGISTICS CLUSTER (2022), *Dispositivos de puesta a tierra y protección eléctrica*, <https://log.logcluster.org/es/dispositivos-de-puesta-tierra-y-proteccion-electrica/#:~:text=Los%20dispositivos%20de%20protecci%20n%20para,en%20las%20proximidades%20de%20estos..>
- [40] SDI (2022), *¿Qué es un PLC, cómo funciona y cuáles son sus ventajas?*, <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-un-plc/>.
- [41] SIEMENS ST 70, 2003, *SIMATIC S7-300*, https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4298/Simatic_S7_300_PLC.pdf?sequence=12&isAllowed=y.
- [42] SIEMENS, 2024, *TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)*, <https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>.
- [43] SCHNEIDER ELECTRIC, 2024, *TwidoSuite - TWD*, IMPACT Company, <https://www.se.com/mx/es/product-range/1453-twidosuite-twd/>.

- [44] FACET, *Programación de PLC*, https://catedras.facet.unt.edu.ar/aycp/wp-content/uploads/sites/88/2015/03/5_b-Programacion-de-PLC-1.pdf.
- [45] SUILER ALTAMIRANO (2019), *Programación con GRAFCET*, <https://blog.suileraltamirano.com/programacion-graftcet/#:~:text=GRAFCET%20es%20un%20sistema%20gr%C3%A1fico%20que%20utiliza%20elementos%20como%20etapas,normales%20o%20de%20estados%20estabilizados..>
- [46] ÁNGEL DE JESÚS GARCÍA PINEDA, DICIEMBRE 2015, *COMUNICACIÓN MULTIMAESTRO A TRAVÉS DE PAR TRENZADO RS-485 (HALF-DUPLEX) MULTIMASTER COMMUNICATION THROUGH RS-485 TWISTED PAIR (HALF-DUPLEX)*, Universidad de Málaga, [https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11444/A.J.%20Garc%C3%ADa%20Pineda_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Maestro-esclavo%20\(Master-slave,conocidos%20como%20esclavos%20o%20slaves\)..](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11444/A.J.%20Garc%C3%ADa%20Pineda_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Maestro-esclavo%20(Master-slave,conocidos%20como%20esclavos%20o%20slaves)..)
- [47] INEGI, *Agua*, Cuentame de México, <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/usos.aspx?tema=T#:~:text=¿Qu%C3%A9%20es%3F&text=En%20M%C3%A9xico%2C%2076%20del%20agua,5%20%25%2C%20en%20la%20industria..>
- [48] MAQUETAEXPERIENCIASPROEXPORT, *Sistema de captación de agua de lluvia y rocío*, PROEXPORT, https://www.proexport.es/wp-content/uploads/2019/08/200942117183505._Sistema_de_Captaci%C3%B3n_de_agua_de_lluvia_y_rocio.pdf.
- [49] BRYAN SWISTOCK, 17 DE AGOSTO 2021, *Interpretación de los análisis del agua de riego*, PennState Extension, <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>.
- [50] DR. CECILIA RIVERA CASTRO, *Cómo tratar el agua de lluvia para su consumo*, <https://www.upla.cl/noticias/2020/07/20/como-tratar-el-agua-de-lluvia-para-su-consumo/>.
- [51] SECRETARÍA DE SALUD, 03 DE DICIEMBRE 2015, *Consumo de agua (Desinfección para consumo)*, Gobierno de México, <https://www.gob.mx/salud/documentos/consumo-de-agua-desinfeccion-para-consumo>.
- [52] YASUSADA OUE, NOBUYOSHI SAKAMOTO, TOMIO HANANO, 2025, *Cultivo de horizontalizaciones de hojas*, Proyecto J-Green, https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/green/green44-20_1-7.pdf.
- [53] PROAIN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA, 03 DE SEPTIEMBRE 2020, *Frecuencia y tiempos de riego para los cultivos agrícolas*, <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas>
- [54] NETAFIM, 2024, *El riego por goteo revoluciona la agricultura*, orbia, <https://www.netafim.com.mx/riego-por-goteo/>

- [55] ING. MIGUEL ALONZO, ABC, 21 DE MAYO 2024, *Cuidado de hortalizas en verano*, AZTECA S.A., <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/cuidado-de-hortalizas-en-verano-885053.html>.
- [56] PILAR DIAZ R, 2023, *Producción de hortalizas de primavera/verano bajo invernadero en los módulos de cosecha y aprovechamiento aguas lluvias*, Instituto de investigación agropecuarias, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/69176/NR43283.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [57] PABLO LOBOS RODRÍGUEZ, BARBARA VEGA CANDIA, JORGE CARRASCO JIMÉNEZ, *Producción de hortalizas bajo invernadero*, Agricultura de la región de O'higgins, <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68837/Capitulo%209.pdf?sequence=12&isAllowed=y#:~:text=%5B%209.8%20%5D%20Riego&text=Para%20una%20producci%20de%20hortalizas,lograr%20una%20mayor%20zona%20h%20meda..>
- [58] NAYLAMP MECHATRONICS, *TUTORIAL SENSOR DIGITAL DE TEMPERATURA DS18B20*, https://naylampmechatronics.com/blog/46_tutorial-sensor-digital-de-temperatura-ds18b20.html.
- [59] IMPACT COMPANY, *Base modular PLC, Twido, alimentación 24vcc, 12 entradas, 24 entradas con 24 vcc, 8 salidas estado solido*, Schneider Electric, <https://www.se.com/es/es/product/TWDLMDA20DTK/base-modular-plc-twido-alimentaci%C3%B3n-24vcc-12-entradas-24-entradas-con-24-vcc-8-salidas-estado-solido-fuente>.