

Universidad Acción Pro Educación y Cultura



**Decanato de Ingeniería e Informática
Escuela de Ingeniería**

“TRABAJO DE GRADO”

**Diseño de un sistema automatizado de producción para el
Invernadero de la Cruz, Cotuí, Provincia Sánchez, Periodo 2015.**

**Trabajo de grado para Optar por el Título de:
Ingeniero Industrial**

Sustentantes:

Alnardy García	2010-1209
Walmer Martínez	2011-1812
Braulio Ruiz	2011-2566

Asesor:

Ing. Alvin Rodríguez Cuevas

Distrito Nacional
República Dominicana
Noviembre 2015

DEDICATORIA

A mis padres, José A. García Rondón y Dilenia C. Felipe Inoa:

Por creer en mí y darme su incondicional apoyo para lograr la terminación de mis estudios de grado y por el amor y el seguimiento que me han dado; los amo.

A mis hermanos Diarma N. García Felipe y José Armando García Felipe:

Por estar presentes a lo largo de mis estudios y apoyarme siempre, espero ser ejemplo para ustedes.

A mis abuelos José A. García Díaz, Ana Delia Rondón Santos, Florentino Felipe Collado y Gloria A. Inoa Joaquín:

Por sus motivaciones y apoyo constante; los quiero.

A mis amigos Carlos R. Felipe González, Romeo González Cleto y Sterlin Soto Marte:

Ustedes por siempre estar dispuestos escucharme, motivarme y ayudarme en todo momento.

A mis compañeros de tesis: Braulio R. Ruiz y Walmer Martínez

Ha sido una gran experiencia haber compartido con ustedes nuestros criterios, discusiones, acuerdos, alegrías, desilusiones y todo lo necesario para llevar a cabo nuestro trabajo de grado.

Alnardy García



DEDICATORIA

A mis padres, Perseverado Martínez O. y María Santana F.:

Por su apoyo incondicional y todo el amor brindado durante todos mis años de estudio. Por el sacrificio realizado todos estos años para poder ofrecerme una educación de calidad tanto académica, como moral. Por servir de ejemplo, para un servidor y mi hermano, de que todo lo que queremos en la vida se puede conseguir a través de trabajo duro, dedicación y perseverancia.

A mi hermano, Francis Amíl Martínez S.:

Por ser un ente de inspiración y de motivación. Por estar siempre presente cuando lo necesito, dispuesto a ayudar y darme aún más de lo que puede. Por ser mi mano derecha, mi aliado y por siempre creer en mí.

A todos mis familiares, pero muy especialmente a mis tías Carmelita, Emilia, Dominga, Hilda, Alexis, Candida, Gladis; A mis tíos: Rafael, Casimiro, Libardo; A mis abuelos: Antonio, José, Carmen, Nelida:

Por su apoyo incansable, todo el amor demostrado y los consejos brindados para siempre seguir adelante.

A mis amigos, Porfirio A. Rodríguez, Jasiel de la Rosa, Oliver de la Rosa, Jose Gregorio, Domingo Bocio y Jean Bazile:

Por preocuparse por mí, apoyarme y ofrecer su mano amiga durante mi paso por la universidad.

A mis compañeros de tesis: Braulio Ruiz y Alnardy García

Por estar siempre unidos en nuestros momentos de júbilo y aun mas unidos ante los obstáculos encontrados en el proceso de la creación de este trabajo de grado.

Walmer Martínez



DEDICATORIA

A mis padres: Miguelina Estévez y Braulio Ruiz, quienes como profesionales que son me han servido de ejemplo y admiración, por el apoyo incondicional y por los consejos recibidos.

A mis hermanos: Krystal, Miguel y Braulito, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis compañeros: Walmer Martínez, Oliver de la Rosa, Alnardy García y José Gregorio, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

A Mayerling y al Civiton, quienes directa o indirectamente me brindaron su apoyo durante todo este tiempo.

A todos los familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quienes son.

Finalmente, a mi abuela Doña Foni quien, donde quiera que esté, la imagino feliz de ver uno de sus nietos logrando culminar sus estudios universitarios.

A ustedes.

Braulio Ruiz



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos dado la vida, sabiduría y llenarnos de bendiciones.

A la Universidad Acción Pro Educación y Cultura (APEC), por haber hecho de nosotros profesionales competentes y competitivos a través de la valiosa formación ofrecida en sus instalaciones.

A todos nuestros profesores, aquellos que se esforzaron por transmitir sus conocimientos y asumir su rol como encargado de una materia.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor Ing. Alvin Rodríguez, por habernos instruido y colocado sus conocimientos a nuestra disposición ante las dudas presentadas durante esta tesis.

A todos nuestros familiares, amigos y allegados quienes, de una u otra manera, fueron parte valiosa e importante para la realización de este trabajo.

Nuestras más sinceras gracias a todos.

Resumen

El presente trabajo de grado tiene como finalidad automatizar el modo de controlar el riego, la humedad relativa, la temperatura, el CO₂ y la iluminación del Invernadero de la Cruz, Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez, partiendo de las singularidades del proceso de cultivo de los pimientos en invernaderos. A través de la investigación sobre el sistema productivo de dicho invernadero, se diagnosticó las condiciones más precisas para el desarrollo del cultivo de pimientos que posibiliten el aumento de la producción del invernadero, con mejor utilización de sus recursos económicos, humanos y materiales, reduciendo costos y aumentando las utilidades que dan rentabilidad a la inversión.

Se plantea una manera más eficiente de realizar el trabajo de los equipos y empleados del Invernadero de la Cruz, para aumentar sus beneficios de producción agrícola, controlar el microclima y reducir el mal manejo de los recursos, mediante la automatización de sus procesos que se lleva a cabo utilizando diferentes dispositivos electrónicos, que facilitan el desarrollo de los procesos del invernadero.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Objetivos del proyecto de grado	12
1.1.1. Objetivo general de investigación	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.2. Justificación de la investigación	12
1.3. Definición conceptual, Formulación del problema y delimitación	14
1.3.1. Planteamiento del problema y Delimitación del tema	14
1.3.2. Delimitación del problema	15
1.4. Diseño Metodológico	15
1.4.1. Métodos de investigación	15
1.4.2. Tipos de investigación	16
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Invernadero	18
2.1.1. Antecedentes	19
2.1.2. Tipos de invernaderos	22
2.1.3. Parámetros productivos de un invernadero	27
2.2. Automatización	37
2.2.1. Justificación de la Automatización	38
2.2.2. Tipos de Sistema de Automatización	39
2.2.3. Automatización a nivel general	41
2.3. Automatización en los invernaderos	43
3. CASO DE ESTUDIO: INVERNADERO DE LA CRUZ	53
3.1. Historia	53
3.2. Organigrama	53
3.3. Ubicación geográfica del invernadero	54
3.3.1. Límites de la provincia Sánchez Ramírez	54
3.3.2. Clima del Municipio de Cotuí	55
3.4. Estado actual del Invernadero de la Cruz, Cotuí, Sánchez Ramírez	57
3.4.1. Descripción del proceso actual	58

3.4.2.	Problemas de los sistemas actuales	62
4.	PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRODUCCIÓN PARA EL INVERNADERO DE LA CRÚZ.....	70
4.1.	Descripción del sistema	70
4.2.	Diagrama de flujo	72
4.3.	Descripción de los equipos del sistema.....	73
4.3.1.	Sensor de temperatura:.....	73
4.3.2.	Ventilador	74
4.3.3.	Extractor.....	74
4.3.4.	Sensores de Humedad	75
4.3.5.	Pantalla LCD.....	76
4.3.6.	Válvulas	76
4.3.7.	Bombas	77
4.3.8.	Controladores de presión	78
4.3.9.	Iluminación interior.....	78
4.3.10.	Sensor de CO ₂	79
4.4.	Requerimientos del cliente.....	80
4.5.	Selección del autómata programable	80
4.6.	Programación del PLC	82
4.7.	Manual del usuario.....	84
4.8.	Relación de costos.....	92
5.	CONCLUSIÓN	93
6.	RECOMENDACIONES	94

Figuras

Figura 1. Interior de un invernadero tipo Plano o Parral.....	23
Figura 2. Invernadero tipo capilla.....	24
Figura 3. Invernadero tipo capilla doble	24
Figura 4. Invernadero tipo Túnel	25
Figura 5. Invernadero tipo Multitúnel.....	25
Figura 6. Invernadero tipo Asimétrico o Inacral	26
Figura 7. Organigrama del Invernadero de la Cruz.....	53
Figura 8. Provincia de Sánchez Ramírez	54
Figura 9. Climograma del municipio de Cotuí	55
Figura 10. Diagrama de temperatura del municipio de Cotuí.....	56
Figura 11. Entrada del Invernadero de la Cruz	58
Figura 12. Pozuelo usado para la toma de agua en el Invernadero de la Cruz.....	59
Figura 13. Tubería de riego en el Invernadero de la Cruz	59
Figura 14. Mangueras de riego en el Invernadero de la Cruz	60
Figura 15. Techo en mallas del Invernadero de la Cruz	61
Figura 16. Interior del Invernadero de la Cruz.....	64
Figura 17. Mezcla de nutrientes para el riego en el Invernadero de la Cruz.....	66
Figura 18. Válvulas para el control de riego en el Invernadero de la Cruz.....	67
Figura 19. Bomba de agua diésel para el riego en el Invernadero de la Cruz.....	68
Figura 20. Sistema de Control	70
Figura 21. Diagrama de Flujo del Sistema de Control Propuesto.....	72

Tablas

Tabla 1. Temperaturas críticas para el desarrollo vegetativo de algunos cultivos	28
Tabla 2. Humedad relativa óptima de algunos cultivos en invernadero	30
Tabla 3. Niveles óptimos de CO ₂ , Humedad relativa, Temperatura del sustrato e Iluminación.....	34
Tabla 4. Consumo medio de agua del pimiento	36
Tabla 5. Comparativas de producción de jitomate en 3 tipos de sistemas	45
Tabla 6. Tabla climática del municipio de Cotuí	56
Tabla 7. Producción de pimientos mini bell en el cuatrimestre Diciembre-Marzo.....	57
Tabla 8. Relación de costos de la propuesta	92

Anexos

Anexo 1. Vista Frontal del Invernadero de la Cruz	100
Anexo 2. Rollos de mangueras a los lados del invernadero.....	100
Anexo 3. Tuberías desde la bomba al invernadero	101
Anexo 4. Tanque para mezcla de nutrientes	101
Anexo 5. Bomba de gasoil y su contaminación en su alrededor.....	102
Anexo 6. Sensor de Temperatura Termocupla 2M	103
Anexo 7. Ventilador 2102 series JM Plate - Plate Axial Fans de la familia Flaktwoods	104
Anexo 8. Descripción del extractor Axial HXB-T 400/L de Soler y Palau Gama	105
Anexo 9. Otras informaciones acerca del Axial HXB-T 400/L de Soler y Palau Gama	106
Anexo 10. Sensor de humedad MAS-1.....	107
Anexo 11. Ficha técnica del sensor de humedad MAS-1	108
Anexo 12. Descripción de la pantalla LCD Magelis XBTNU400.....	109
Anexo 13. Otras características de la pantalla LCD Magelis XBTNU400.....	110
Anexo 14. Electroválvula N/C Bayite.....	111
Anexo 15. Especificaciones de la Electroválvula N/C Bayite	111
Anexo 16. Bomba Truper BOAC-2	112
Anexo 17. Características del Manómetro 1005-E-MC-001b	113
Anexo 18. Transductor de alta precisión PX509HL	114
Anexo 19. Especificaciones del Transductor PX509HL.....	114
Anexo 20. Descripción del presostato FYG-3210	115
Anexo 21. Lámpara Growlight 30W.....	115
Anexo 22. Especificaciones de las Bombillas Growlight 30W	116
Anexo 23. Sensor de CO ₂ GMP221.....	117
Anexo 24. Descripción del sensor GMP221.....	117
Anexo 25. PLC MicroLogix 1500	118
Anexo 26. Características físicas de PLC MicroLogix 1500.....	118
Anexo 27. Software requerido para la programación	119

Anexo 28. Módulos de memoria.....	120
Anexo 29. Dimensiones del PLC MicroLogix 1500.....	120
Anexo 30. Módulo de expansión 1746-iq16 MicroLogix.....	121
Anexo 31. Entrada y Área de esterilización del invernadero.....	122
Anexo 32. Área de esterilización del invernadero	122
Anexo 33. Cuarto de herramientas.....	123
Anexo 34. Nutrientes y fertilizantes en el cuarto de herramientas.....	123
Anexo 35. Cuarto de desechos.....	124

CAPÍTULO

I

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades de mayor importancia para la humanidad, ya que provee los alimentos necesarios para la sobrevivencia. Esto se logra aprovechando los recursos provistos por la naturaleza junto a la mano del hombre que con los conocimientos a su disposición utiliza técnicas que permiten la correcta explotación del suelo y de los recursos que son originados por éste.

El éxito de un cultivo depende de las condiciones climáticas que presenta el ambiente donde se encuentra. Es decir, que los factores climáticos pueden representar la pérdida total de un cultivo por ser afectado por una multiplicidad de factores que están fuera de control. El clima es un factor impredecible y un tanto caótico, por lo que, mantener las condiciones óptimas para obtener buenos productos, puede ser un tanto complicado.

Otro inconveniente que tiene la agricultura al aire libre, son las plagas. Es muy común encontrar plagas en los cultivos, desde simples mosquitos por la acumulación de agua, hasta ratas que devoran los cultivos. Convencionalmente, los agricultores intentan proteger sus cultivos con venenos e insecticidas, los cuales a la vez son absorbidos por los cultivos de manera natural a través de la fotosíntesis.

Es por esto, que el sistema de cultivo bajo invernadero automatizado proporciona un microclima adecuado para la producción de cultivo de frutas, flores y hortalizas. La ventajas de los invernaderos automatizados es la mayor productividad por m², calidad en los productos, control eficiente de plagas y enfermedades del cultivo, un mayor control de los factores ambientales, para poder producir fuera de época, tener las condiciones ambientales para producir cultivos inicianos, y tener más oportunidad de comercializar cultivos de alta calidad en un mercado cada día competitivo.

En el presente trabajo de grado se busca una solución práctica ante las grandes necesidades de optimizar los recursos agrícolas y se pretende optimizar el sistema de producción existente. Además de aportar al agricultor una mejor opción de cultivo, ya que puede optimizar al máximo sus recursos a través de la automatización y monitoreo constante de los factores críticos: Temperatura, Humedad Relativa, Riego, Iluminación, CO₂. En este caso se utilizara un PLC, el cual es un dispositivo de control programable en ambientes industriales, por lo que ofrece una amplia aplicación y cumple con los requisitos necesarios para mantener los factores críticos climáticos bajo control debido a su precisión.

1.1. Objetivos del proyecto de grado

1.1.1.Objetivo general de investigación

Diseñar un sistema automatizado de producción para el Invernadero de La Cruz, Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, año 2015.

1.1.2.Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual del Invernadero de la Cruz.
- Analizar el sistema existente en el Invernadero de la Cruz.
- Identificar las variables críticas del invernadero
- Diseñar el sistema automatización de producción para el invernadero
- Realizar el manual del usuario para el sistema de automatización.

1.2. Justificación de la investigación

Las plantas fructíferas representan una parte importante de la alimentación humana. Estas son obtenidas, tradicionalmente, por agricultores y/o de forma natural. Pero existen una variedad de productos agrícolas que para su adecuada producción, deben mantenerse unas condiciones adecuadas y bajo un clima que no se tiene en todo el territorio nacional.

Cuando la plantación no está a campo abierto, el cultivo de productos tendría una variedad menos limitada ya que el ambiente climático se puede controlar y adecuar al tipo de producto en cosecha. La ubicación geográfica es muy importante para la selección del producto que se quiere cosechar, aunque ya

esto no sería un inconveniente porque, de igual manera, los parámetros pueden ser controlados y adaptados al producto.

Cabe destacar que es más eficiente el control de plagas en un invernadero comparado con una cosecha a campo abierto. Además, los invernaderos desde sus comienzos han ayudado a combatir una crisis alimenticia que cada vez se agrava por el crecimiento de la población y la disminución de recursos naturales, que se les agrega los cambios climáticos que dificultan aún más la cosecha tradicional en campo abierto.

Por lo tanto, es necesario la creación de invernaderos en el país para combatir los altos costos que generaba el importar ciertos productos que, en condiciones habituales, eran imposibles de cultivar. Entre dichos productos se encuentra el pimiento mini bell, el cual es cultivado en el Invernadero de la Cruz. El pimiento mini bell es una combinación entre el pimiento regular y el pimiento picante. Es utilizado en todo el mundo para sazonar una inmensidad de platos debido a su rico sabor.

Es necesario mantener ciertas condiciones de suelo, temperatura y humedad para obtener pimientos de calidad, que cumplan los requisitos de tamaño y sabor usualmente observados por los compradores. Sin embargo, existen variables tanto internas como externas que afectan el correcto desarrollo de los cultivos en el Invernadero de la Cruz y por consecuencia a estas variables, se obtienen producciones irregulares, una calidad variante, un desperdicio de materiales, entre otras.

Respondiendo a lo expuesto, esta investigación propone una mejora al control de los factores críticos mediante el uso de tecnología (automatización), que permita mejorar la calidad de los cultivos, reducir gastos, ganar confiabilidad con los compradores y obtener un margen de producción más alto y estable.

1.3. Definición conceptual, Formulación del problema y delimitación

1.3.1. Planteamiento del problema y Delimitación del tema

En los últimos cinco años (2010-2015), se ha notado una creciente tendencia en el uso de invernaderos para la producción de frutas y vegetales de manera rápida y de buena calidad. (Silvestre, 2015). El Invernadero de la Cruz ha sido utilizado por sus propietarios de una manera inadecuada, ya que el invernadero tiene ineficiencias en el manejo de materiales, climatización y en el sistema de riego que afectan la producción y la calidad de los pimientos. El despilfarro de materiales, la climatización descontrolada en el área cultivo, entre otros, son factores que intervienen y afectan el proceso de cultivo. Esta descontrolada utilización de sus recursos provoca constantemente la tardanza de entrega de los cultivos. Además de una gran cantidad de productos rechazados, por no cumplir ciertos estándares de calidad y parámetros requeridos por los clientes.

Existen factores que son determinantes a la hora de medir que tan eficiente puede ser un invernadero, entre ellos se puede mencionar: la temperatura, la humedad relativa, la humedad absoluta, la radiación, el riego, entre otros. El control inadecuado puede provocar gastos extras en cuanto a compra de materiales y equipo se refiere.

Los costos que implica los insecticidas para el control de plaga, así como agua y electricidad podrían provocar en el futuro la eliminación del invernadero porque no se podrá sostener con todos los gastos y además está bajo la supervisión de un empleado que ejecuta los procesos en base a su experiencia empírica.

Por lo tanto, se hace necesario implementar un sistema de automatización para el Invernadero de la Cruz que se encargue de monitorear y controlar el microclima de manera constante manteniendo los factores críticos que afectan la producción de los cultivos bajos parámetros específicos.

1.3.2.Delimitación del problema

La investigación se realizará en el marco de Invernadero de la Cruz, localizado en la Carretera Maimón-Cotuí, La Lechosa, municipio de Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez. El estudio abarcará el proceso de climatización del invernadero, desde el control del clima interior hasta el control de la humedad del suelo, así como la tecnología y técnicas de riego, fertilización, y ventilación.

1.4. Diseño Metodológico

1.4.1.Métodos de investigación

- **Método Analítico**

Método que será utilizado en la presente investigación, esencialmente para descomponer el problema existente de controlar los factores críticos en el desarrollo de los pimientos.

- **Método Experimental**

Método que será empleado para tener un resultado del estado actual del invernadero de la Cruz, a través de pruebas, test y exámenes para así determinar de forma objetiva la situación real de la productividad y calidad de los pimientos y a partir de tales resultados, identificar posibles causas y soluciones.

- **Método Estadístico**

Método que será utilizado para la elaboración de tablas y gráficos a partir de la información obtenida sobre la producción y calidad actual de los productos.

- **Método Correlacional**

Para responder a preguntas de investigación en las que existe una relación entre las variables ligadas a la calidad, sabor, tamaño, y el tamaño del cultivo de pimientos que están relacionadas al proceso de riego y aplicación de insecticidas.

1.4.2. Tipos de investigación

- **Descriptiva:** con el fin de analizar las características de los sistemas de riego, control de humedad y ventilación del invernadero.
- **De campo:** con el propósito de observar y constatar físicamente las informaciones recopiladas sobre el proceso objeto de estudio.
- **Aplicada:** con la finalidad de utilizar los conocimientos obtenidos en las investigaciones en la planta, y con ello, llevar beneficios al invernadero.

CAPÍTULO

II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Invernadero

Un invernadero es una estructura cerrada que tiene un ambiente controlado que brinda condiciones favorables y necesarias para el desarrollo de las plantas y cultivos dentro de la misma. Es decir, que su función principal es la producción de cultivos. Usualmente están cubiertos por una superficie translúcida, ya sea vidrio o plástico para poder controlar el clima dentro del mismo.

Según Sebastián Olguín, los invernaderos son estructuras de diversas formas y tamaños que tienen la capacidad de generar condiciones de temperatura y humedad ideales que son utilizados para cultivar plantas durante el invierno, o en sectores donde las condiciones climáticas son muy adversas (Olguin, 2011). En ese mismo sentido, Agustín Rollano define un invernadero como un lugar cerrado, puede ser cubierto con nylon o vidrio, el cual sirve para mantener la temperatura y cuidar los cultivos, principalmente del invierno, como el frío intenso, las heladas, los vientos, granizos, etc. Expresa además que este lugar permite controlar la temperatura, la humedad y favorece el crecimiento de las plantas (Rollano, 2014).

Rogelio Equino considera que un invernadero es un lugar cerrado, estático, agregando de que es accesible a pie, y que es destinado a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas (Eguino, 2012).

Una definición más completa y que engloba todas la provistas por los autores anteriores es la que presenta Zolio Serrano en su libro de Construcción de invernadero, en el que define un invernadero como

una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender las plantas de los factores exteriores. Esta instalación permite el control de determinados parámetros productivos, como: temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa, concentración de CO₂ en el aire, luz, etc., lo cual considera que es lo más cercano posible al óptimo para el desarrollo de los cultivos en todo su ciclo vegetativo (Serrano Cermeño, 2005).

2.1.1. Antecedentes

Los invernaderos nacen de la necesidad de cultivar productos sin importar su ubicación geográfica, el tiempo del año, las plagas y las condiciones climáticas, ya que hay cosechas que solo se dan en ciertas situaciones climáticas (*frio, calor, humedad, sequia*) representando esto una ventaja significativa a nivel de costos y productividad.

Los primeros invernaderos de horticultura Holandeses fueron construidos alrededor de 1850 para el cultivo de uvas. Se descubrió que el cultivo en invernaderos con calefacción y con el más alto nivel de cristal incrementaba el rendimiento. Las plantas crecían más rápidamente cuando se les daba más luz y cuando el entorno cálido era constante. Esto significa que en los Países Bajos se pueden cultivar otros productos que solamente se podrían cultivar en países cálidos si no hubiera invernaderos. Las tormentas de 1972 y 1973 fueron la razón de llevar a cabo investigaciones científicas técnicas y sistemáticas en la construcción de invernaderos. Conjuntamente con pioneros de la industria y comercio, se redactó la primera normativa para la construcción de invernaderos neerlandesa y así se logra dar comienzo a la creación de invernaderos por todos los continentes y el mundo (Jaime Andrés Muñoz Solarte, 2012).

Otros autores como Carrillo Reveles & Vázquez Minjares (2008), ubican los orígenes de los invernaderos en los tiempos antes de Cristo, en donde se usaban las macetas dentro de los palacios para cultivar ciertas plantas. Hacia finales del Siglo IV A.C., las macetas eran ya algo normal y los jardines de azotea no eran tomados ya como algo fuera de lo común. Los egipcios ya sentían un gran amor por las plantas y las flores. No obstante, las pruebas escritas que demuestran la utilización de las plantas de interior data del Siglo III A.C. Las plantas estaban en recipientes de arcilla y fueron colocadas en los patios de los palacios con propósitos ornamentales.

Muchas de las plantas exóticas que fueron llevadas a Gran Bretaña no habrían sobrevivido a no ser por la existencia de los invernaderos. En 1545 se fundó el jardín botánico de Padua en Italia con fines académicos, para facilitar el aprendizaje y el conocimiento de las plantas medicinales. Este sufrió modificaciones en su estructura alrededor en 1550 para introducir algunas partes de cristal y poder adaptar así las plantas más delicadas, aunque no fue hasta el Siglo XVII que se utilizó ese material como técnica común para el cultivo de invernadero (Carrillo Reveles & Vázquez Minjares, 2008).

La industrialización en el Siglo XIX produjo un rápido desarrollo de la tecnología de invernaderos. A principios de ese siglo, la mayoría de invernaderos eran de construcción sencilla con una pendiente en cubierta de 45°, lo que provocaba el calentamiento del invernadero por la descomposición de materia orgánica o mediante estufas. No fue hasta 1829 fue mencionado el doble acristalamiento como aislante térmico (López Hernández & Pérez-Parra, 2006).

En el mismo Siglo XIX, se construyeron los invernaderos más grandes. El invernadero en los jardines de Kew en Inglaterra, es un buen ejemplo del efecto invernadero victoriano, aunque destinado a la exposición de horticultura y no hortícola. Otros incluyen el Crystal Palace de Londres, el Palacio de

Cristal de Nueva York, y Glaspalast de Múnich. Joseph Paxton, quien había experimentado con el vidrio y el hierro en la creación de grandes invernaderos como el jardinero en Chatsworth en Derbyshire, trabajó para el duque de Devonshire, diseñando y construyendo el Crystal Palace de Londres. Un logro importante arquitectónico para contrarrestar el efecto invernadero fue la construcción de los Invernaderos Reales de Laeken (1874-1895) por el rey Leopoldo II de Bélgica (New World Encyclopedia, 2014).

En el Siglo XX se recolectó una amplia información sobre calefacción, riego y fertilización en invernadero. En Holanda se desarrollaron gradualmente invernaderos para un mejor uso de los cultivos, hasta que en 1937 se construyó el invernadero Venlo a base de acero y cristal, el cual podía ser utilizado para diferentes cultivos (Lira-Saldivar, Hernández-Suárez, & Corrales-Flores, 2014).

A partir de la Segunda Guerra Mundial aparecieron los plásticos rígidos como el poliéster en EEUU y Europa (López Hernández & Pérez-Parra, 2006). Estos a su vez llevaron la creación de estructuras con poca altura y poco peso, hacia estructuras de mayor altura con cubiertas que permitían a los rayos del sol penetrar en el invernadero y proveer la radiación óptima a los cultivos. Dicho avance se logró gracias al uso de materiales más resistentes, que soportan las altas temperaturas y los cambios climáticos (López Hernández & Pérez-Parra, 2006).

El cultivo protegido es definido por Nicolás Castilla como un sistema utilizado en la agricultura, el cual tiene como propósito controlar la atmósfera alterando las condiciones climáticas (radiación, aire, humedad, suelo y temperatura). Además expresa que el objetivo de los mismos es obtener producciones de alto valor añadido tales como: hortalizas, frutas, flores, ornamentales y plantas de vivero. A razón de que el clima es el factor de mayor importancia de la actividad agrícola, el mismo presenta limitaciones

como lo es la falta de radiación, la excesiva o insuficiente temperatura, la deficiencia en la entrega de nutrientes, las malas hierbas y los vientos con exceso de dióxido de carbono (Castilla Prados, 2007).

El cultivo protegido juega un papel importante a la hora de mitigar la limitación más importante de la producción agrícola, la cual es la falta de agua. Las pérdidas causadas por la sequía, las inundaciones y el granizo son iguales a las provocadas por todos los demás factores mencionados anteriormente. Nicolás aclara que el cultivo protegido va más allá del riego, porque este utiliza diversas técnicas de protección de plantas que han alcanzado una gran importancia en el último siglo (Castilla Prados, 2007).

El concepto moderno de un invernadero es a la vez elegante y práctico. El aumento de la automatización y las mejoras en la tecnología de materiales han reducido la cantidad de tiempo y esfuerzo requerido para ejecutar un invernadero y han garantizado al consumidor que su invernadero resistirá la prueba del tiempo (White Cottage Leisure Buildings Ltd, 2011).

2.1.2. Tipos de invernaderos

Los invernaderos se pueden clasificar dependiendo de distintos factores como son los materiales de la estructura, el diseño exterior, su fijación o movilidad y otros elementos que son partes de su construcción. Entre los más comunes se encuentran:

2.1.2.1. Invernadero Plano o tipo Parral

El Ingeniero Agrónomo Alejandro López Martínez, lo define en su tesis doctoral *“Contribución al conocimiento del microclima de los invernaderos mediterráneos mediante anemometría sónica y*

termografía” como una construcción totalmente artesanal. Explica que la estructura está constituida por rodillos de madera (rápido envejecimiento de la instalación) o tubos de hierro que se apoyan en bloques de hormigón, los cuales pueden estar colocados de manera vertical e inclinada. Además, la techumbre y las paredes laterales están formadas por dos mallas de alambre galvanizado que se debe tejer manualmente al construir el invernadero (López Martínez, 2011).

En este mismo sentido, presenta algunas de las ventajas que provee este tipo de invernadero como son su bajo coste y su gran adaptabilidad a la forma del terreno o parcela. Como inconvenientes presenta poca retención del agua de lluvia y un bajo nivel de tecnificación, como por ejemplo, la apertura de ventanas suele ser de manera manual.

Zolio Serrano agrega, en su libro “*Construcción de Invernaderos*”, que una ventaja de este modelo es su gran resistencia al viento. Pero una de las desventajas que presenta es el poco flujo de aire debido a la mala ventilación y además existe el peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico que le recubre, razón por la cual no es recomendado en zonas lluviosas. A todo esto el autor le agrega otra desventaja, que es el goteo del agua de lluvia que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas (Serrano Cermeño, 2005).



Figura 1. Interior de un invernadero tipo Plano o Parral
Fuente: Serrano Cermeño, Z. (2005).

2.1.2.2. Invernadero tipo Capilla y Capilla doble

Este invernadero tiene la techumbre con dos planos inclinados, está formado por dos naves unidas a dos aguas que parecen una capilla y dispone de pilares en el centro de la nave. Esta es una característica que le ofrece una mayor estabilidad a la estructura, le permite resistir la vibración del viento, asegura una mayor duración del plástico cobertor y requiere de un menor gasto de mantenimiento e instalación. Como desventaja tiene la disminución del área de cultivo debido a la gran cantidad de postes, y los mismos dificultan las labores agrícolas como la siembra, el riego y la cosecha (Serrano Cermeño, 2005).

En comparación con el Capilla simple, el Capilla doble es de construcción más dificultosa y cara. Aunque, por otro lado, presenta una ventilación cenital, que resuelve de manera económica y fácil el problema de ventilación que tenían los invernaderos de capilla simple (Serrano Cermeño, 2005).



Figura 2. Invernadero tipo capilla



Figura 3. Invernadero tipo capilla doble

Fuente: Invernaderos Fertri S.L. (2012)

2.1.2.3. Invernadero tipo túnel y multitúnel industrial

El invernadero tipo túnel posee una estructura constituida por arcos de tubo redondo. Tiene la facilidad de ser montado por los propios cultivadores, estanqueidad del agua y viento dentro del recinto, muy pocos obstáculos dentro del invernadero, de fácil movilidad (desarmable) y es de fácil conservación (Serrano Cermeño, 2005). Muy similar al tipo túnel está la estructura de los multitúnel, los cuales son uniones de invernaderos túneles y estos tienen a su vez, la ventaja de controlar los factores climáticos por varios motivos: es más hermético, más diáfano, la apertura de las ventanas es fácilmente mecanizable y permite la instalación de cualquier sistema de control del microclima. Su único inconveniente radica en su alto coste, comparado a los demás (López Martínez, 2011).



Figura 4. Invernadero tipo Túnel



Figura 5. Invernadero tipo Multitúnel

Fuente: Invernaderos Fertri S.L.(2012).

2.1.2.4. Invernadero Asimétrico o Inacral

Es de gran superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar atraviese perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulos comprendidos entre los 8 y 11° en la cara sur y entre los 18 y 30° en la cara norte (Infoagro Systems, S.L., 2007).



Figura 6. Invernadero tipo Asimétrico o Inacral

Fuente: Editorial, E. (2015).

2.1.3. Parámetros productivos de un invernadero

Los parámetros productivos son los factores climáticos que al ser controlados se obtiene un incremento de la calidad y la producción, aumentando la rentabilidad del cultivo. Además, pueden adelantar o retrasar la siembra y con ello la recolección, lo que significa que los productos pueden estar en el mercado antes que otros productores, es decir, cuando los precios sean más favorables; también se puede producir en épocas extremas de frío y de calor, en las que mermaba la calidad y producción (López Molina, 2005).

Zoilo Serrano reconoce como parámetros productivos: temperatura del ambiente y del suelo, humedad relativa, concentración de CO₂ en el aire y la iluminación. Además le agrega el riego o sistema de riego; proponiendo así, que con estos valores se logra un microclima¹ favorable para el desarrollo de una plantación específica, que mejora la calidad del producto y que además puede incrementar el rendimiento de los cultivos seleccionados (Serrano Cermeño, 2005).

En el interior de un invernadero, los factores climáticos afectan de diferentes formas sobre el cultivo. Un ejemplo es como la variación de parámetros tales como la luz, la temperatura o la concentración de CO₂, que afecta de forma directa sobre la fotosíntesis de la planta, de modo que los procesos de respiración y división celular se ven alterados de algún modo. Por otro lado, con la aplicación de agua y de nutrientes se logra influir sobre la temperatura de las raíces y la humedad del aire, lo que implica una variación en la división y en el crecimiento celular. Cuanto más control se tenga sobre estos parámetros, el éxito y la seguridad del agricultor en su actividad productiva se verá incrementada (López Molina, 2005).

¹Microclima: es la condición localizada de temperatura, humedad, y atmosfera que tiene un invernadero y que son diferentes a las del resto de la zona donde se encuentra.

Las consideraciones del microclima en el interior de invernadero difieren a las que se dan en países templados, por lo que, es prioritario entender cuáles son las variables más determinantes en el microclima en condiciones tropicales para lograr ambientes óptimos para el desarrollo y producción de plantas. En el trópico, la radiación varía muy poco durante todo el año, por lo que, este factor no es una limitante para la producción. En zonas de alta montaña (por arriba de 1700 m), la radiación total diaria es menor, en especial en épocas de lluvias debida a alta nubosidad que se presenta; sin embargo, se tienen días con valores de radiación puntual muy similares a los obtenidos en épocas de sequía donde usualmente existen muy pocas nubes y predominan cielos despejados (Jaimez, Martinez, & Da Silva, 2007).

2.1.3.1. Temperatura

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. De día para mantener la temperatura en el valor deseado se hace uso de un sistema de ventilación y en la noche, se hace uso del sistema de calefacción.

<i>Cultivo</i>	<i>T.^o mínima letal</i>	<i>T.^o máxima letal</i>	<i>T.^o mínima biológica</i>	<i>T.^o máxima biológica</i>	<i>T.^o óptima</i>
Tomate	-2°	40°	10 a 12°	30°	20 a 24°
Pimiento	-1°	< 45°	13°	40°	18 a 25°
Berenjena	0°	< 50°	10 a 12°	50°	18 a 27°
Pepino	-1°	35°	10 a 12°	35°	18 a 25°
Melón	0 a 1°	35 a 40°	13 a 15°	25 a 30°	20 a 25°
Sandía	0°	45°	11 a 13°	30°	23 a 28°
Calabacín	-1°	< 40°	10°	35°	25 a 30°
Judía	1°	< 45°	8 a 10°	30 a 40°	18 a 30°
Guisante	-3 a -4°	< 40°	5 a 7°	35°	16 a 20°
Lechuga	-6°	< 40°	6°	30°	15 a 20°
Acelga	-5°	< 45°	5°	35°	18 a 22°
Espinaca	-5°	40°	5 a 7°	25 a 30°	15 a 18°
Apio	0°	40°	8 a 10°	30°	18 a 25°
Fresón	-3 a -5°	40°	2 a 5°	30°	15 a 18°

Tabla 1. Temperaturas críticas para el desarrollo vegetativo de algunos cultivos

Fuente: Serrano Cermeño, Z. (2005)

Un estudio presentado por la empresa Infoagro Systems, S.L., empresa reconocida por tener el primer portal temático sobre Agricultura en castellano y que desde 1997 viene desarrollando proyectos y proveyendo información sobre temas agrícolas, revela que la temperatura óptima para las plantas desarrollarse plenamente se encuentra entre los 10 y 20° C. Por otro lado, el autor de Construcción de invernaderos, Ingeniero Zoilo Serrano (2005), considera que las temperaturas mínimas y máximas están entre 0° C y 70° C respectivamente.

2.1.3.2. Humedad Relativa (HR)

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. La empresa Infoagro Systems destaca en una investigación realizada que existe una relación inversa de la temperatura con la humedad, por lo que, a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto, disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta (Infoagro Systems, S.L., 2007).

Tanto Infoagro como Zoilo consideran que cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones y concuerdan que al tomate, al pimiento y berenjena les conviene una HR sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%. (Infoagro Systems, S.L., 2007; Serrano Cermeño, 2005).

<i>Cultivo</i>	<i>Humedad (%)</i>
Tomate	50-60
Pimiento	50-60
Berenjena	50-65
Pepino	70-90
Melón	60-70
Calabacín	65-80
Sandía	65-75
Judía	60-75
Fresón	70-80
Guisante	65-75
Lechuga	60-80
Acelga	60-70
Apio	65-80

Tabla 2. Humedad relativa óptima de algunos cultivos en invernadero
Fuente: Serrano Cermeño, Z. (2005)

Ambas fuentes concilian en que la HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva, las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen² y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas³. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, hay más concentración de sales en las partes donde se realiza la fotosíntesis pudiendo así las plantas deshidratarse, además de los comunes problemas de mal cuaje (Infoagro Systems S.L., 2007; Serrano Cermeño, 2005).

2.1.3.3. Iluminación

“En ciertas ocasiones es necesario aplicar iluminación artificial o simplemente regular la iluminación natural en el interior del invernadero. Esto puede hacerse con el fin aumentar la duración del día en plantas de día largo que no florecerían de otra manera o disminuir el periodo oscuro en plantas

² Apelmazamiento del polen: es la compactación o espesamiento del polen.

³ Enfermedad criptogámica: es una enfermedad de las plantas causada por un hongo u otro organismo filamentosos parásitos.

ornamentales de día corto para favorecer el crecimiento vegetativo en una época en que se presentaría floración sin que las plantas tuvieran el adecuado tamaño” (García Jalmes & Arroyave Giraldo, 2005).

Fulgencio Pujante García del Dpto. de Ingeniería de la empresa Novedades Agrícolas en Almería agrega, que los tipos de iluminación, puede ser de dos tipos según su aplicación: iluminación para la asimilación fotosintética, se emplean instalaciones a base de lámparas de sodio de alta presión y si es el caso de destinarse la instalación al manejo del fotoperiodo, se utilizan lámparas incandescentes. El otro tipo que presenta es la iluminación para asimilación, la cual explica que para prolongar la vida de las lámparas de sodio, establece periodos intermitentes de encendidos y apagados (Pujante García, 2011).

Cada tipo de planta requiere una intensidad de luz diferente y así lo deja saber Sebastián Giraldo Echeverri en su artículo “Iluminación en invernaderos”, en donde expresa lo difícil que resulta medir esta intensidad de luz para el invernadero sin un luxómetro, pero Giraldo presenta algunos comparativos para tomarlos como referencia (Giraldo Echeverri, 2011):

- 1 lux: Es la intensidad de la luna llena en latitudes tropicales
- 100 lux o menos: Se considera intensidad baja o luz indirecta.
- 450 lux: Es la intensidad promedio de una oficina.
- 450 lux: Es la intensidad de la salida del sol en un día despejado, en latitudes tropicales
- 1.000 Lux: Es la intensidad para un día nublado, se considera una iluminación de alta intensidad.
- 32.000 a 100.000 Lux: Es la intensidad de luz para un día despejado sobre la luz directa del sol.

También Giraldo resalta que la duración de la exposición luminosa es tan importante como la intensidad. La fotosíntesis es un proceso que puede ser manipulado proporcionando luz de baja intensidad por largos periodos. En esta parte el autor presenta el siguiente calculo: “4 horas de 800 Lux de intensidad es igual a 8 horas a 400 Lux, en cada caso 3.200 Lux serán recibidos por la planta en un día”. Esta reciprocidad, Sebastián la considera de suma importancia al momento de controlar la cantidad de luz según los recursos con los que se cuenta para iluminar el invernadero (Giraldo Echeverri, 2011).

Al mismo tiempo realza que las plantas también necesitan un mínimo 5 horas para procesar la energía acumulada durante el día y producir la glucosa necesaria, por lo tanto, no se debe exagerar en la cantidad de horas luz suministrada. El autor opina que el conocimiento del suministro de luz en las plantas es bastante sencillo una vez que se conocen los siguientes elementos: el tipo de plantas que se está cultivando, si esta de día corto, largo o neutral, e igualmente la estación del año (Giraldo Echeverri, 2011).

Para medir la cantidad de luz y con base en esto tomar la decisión si las plantas necesitan más luz, se pueden utilizar luxómetros o fotoceldas. Esta medición permitirá que el cultivo tenga un nivel adecuado de luz para que las plantas posean la energía suficiente para la fotosíntesis. Y si lo que se desea es tener un grado de automatización en el invernadero, la medición de la variable es una parte fundamental para poder detectar el momento de oscuridad y proveer horas extras de luz (Giraldo Echeverri, 2011).

2.1.3.4. CO₂

Tanto Zoilo Serrano como otros autores consideran que el anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible para que las plantas puedan realizar las fotosíntesis (Serrano Cermeño, 2005). Así también lo expresa una de las empresas líder mundial en mediciones ambientales e industriales

VAISALA, donde explica que las plantas consumen CO_2 en la reacción de fotosíntesis y lo combinan con agua para formar azúcares y oxígeno. La concentración de CO_2 en el invernadero afecta en gran medida la tasa de crecimiento de las plantas y, por lo tanto, el nivel de CO_2 debe monitorearse y controlarse para alcanzar un nivel óptimo de crecimiento (VAISALA, 2013).

Ambos explican que la concentración de CO_2 no debe exceder un 0.3%, pues pueden resultar tóxicas para los cultivos y que los niveles aconsejados de CO_2 dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. En ese sentido, la empresa InfoAgro, la cual presenta en sus investigaciones la teoría de que el nivel óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C (Infoagro Systems, S.L., 2007). Sin embargo, resalta que no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad ya que la luz es factor determinante, y así, la tasa de absorción de CO_2 es proporcional a la cantidad de luz recibida; además de depender de la propia concentración de CO_2 disponible en la atmósfera de la planta. Explica que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad (Infoagro Systems, S.L., 2007).

Especie	Temperatura óptima substrato (° C)	(CO ₂) (ppm)	Humedad relativa (%)	LUZ	
				Intensidad (lux)	Duración (horas)
<i>Hortícola</i>					
Tomate	15-20	1.000-2.000	55-60	10.000-40.000	D.I.
Pepino	20-21	1.000-3.000	70-90	15.000-40.000	D.L.
Melón	20-22	—	60-80	—	D.L.
Pimiento	15-20	—	65-70	—	D.L.
Berenjena	15-20	—	65-70	—	D.L.
Lechuga	10-12	1.000-2.000	60-80	12.000-30.000	D.L.
Fresón	12-15	—	60-70	—	D.C.
<i>Florícola</i>					
Clavel	15-18 (radicaz.)	500-1.000	70-80	15.000-45.000	D.I.
Rosa	15-18	1.000-2.000	70-75	pleno sol	D.I.
Gerbera	18-20	—	60-70	pleno sol	D.I.
Crisantemo	18	400-1.200	60-70	—	D.C.
Gladíolo	10-15	—	60-70	pleno sol	D.L.
Tulipán	8-12	—	70-80	pleno sol	D.L.
Iris y Narciso	10-13	—	60-70	pleno sol	D.L.
Lilium y Freesia	10-15	—	60-70	pleno sol	D.L.
Ciclamen	14-16	—	60-70	semisombra	D.I.
Azalea, Rododendron ...	15-18	—	80-95	—	D.L.
Begonia	18-20	—	60-70	semisombra	D.L.
Poinsetia	18-20	—	60-70	pleno sol	D.C.
Primula y Carceolaria ...	—	—	60-75	pleno sol	D.L.
Pelargonium	—	1.000-2.000	60-70	pleno sol	C.L.
Saintpaulia	20-22	—	70-80	5.000-20.000	D.C.
Kalanchoe	—	—	60-70	pleno sol	D.L.
Hortensia	18-20	—	70-80	pleno sol	D.L.
Gardenia	19-22	—	—	pleno sol	D.I.
Cybidum	10-14	—	80-90	15.000-30.000	D.I.
Dypripedium	10-14	—	80-90	15.000-30.000	D.C.
Phalaenopsis y Cattleya .	16-18	—	80-90	15.000	—
Croton, Ficus	21	—	80-90	pleno sol	—
Diffenbachia	18-20	800-1.200	85-95	12.000-15.000	—
Bromeliáceas	18-20	—	80-90	semisombra	—

Tabla 3. Niveles óptimos de CO₂, Humedad relativa, Temperatura del substrato e Iluminación
Fuente: Serrano Cermeño, Z. (2005).

2.1.3.5. Riego

La disolución de los nutrientes que son absorbidos por las plantas, no fuese posible sino fuesen disueltos en el agua, y si éstos no son disueltos, los cultivos no podrán crecer ni desarrollarse puesto a que no tendrán una fuente de donde alimentarse al momento de hacer el proceso de fotosíntesis. Por lo tanto, el agua resulta ser uno de los factores más importantes a la hora de cultivar cualquier fruto.

El riego es suplir a los cultivos con la cantidad de agua necesaria sin afectar el relieve (suelo) ni la vegetación, de manera artificial, es decir, utilizando algún mecanismo u objeto que permita realizar dicha acción. Además, es uno de los métodos más utilizados para proteger los cultivos de la sequía (Castellanos, Agronomía para todos, 2012). Nicolás Castilla agrega que esta técnica ha permitido la agricultura en regiones áridas y desérticas que sin la ayuda del riego no serían para nada productivas (Castilla Prados, 2007).

Las exigencias de agua varían con respecto a la temporada y la fecha en la que se esté cultivando. Tomando valores de la tabla 4 se selecciona el valor en (L/m²) conociendo la fecha de trasplante⁴ y con este valor se puede calcular y controlar la dosis de riego de pimiento, tanto por riego manual como por goteo en el cual se necesita controlar el tiempo de riego (Agromática, Jose, 2012).

⁴ Trasplante: es cambiar la planta de un lugar a otro, ya sea por motivos estéticos o por la propia salud de la planta. Es una técnica ligada al uso de semilleros y viveros que se usa para disminuir la competencia que existe en la siembra (por ejemplo con malezas); favorecer el acceso a los elementos nutritivos, entre otros.

CONSUMO MEDIO DE AGUA -PIMIENTO- [litros/m² día]

MES	SEMANA	FECHAS DE TRANSPLANTE				
		2ª quincena Julio	1ª quincena Agosto	2ª quincena Agosto	1ª quincena Septiembre	2ª quincena Septiembre
JULIO	del 16 al 23	0,76				
	del 24 al 31	0,83				
AGOSTO	del 01 al 07	1,46	0,79			
	del 08 al 15	2,11	0,75			
	del 16 al 23	2,73	1,18	0,70		
	del 24 al 31	3,21	1,78	0,70		
SEPTIEMBRE	del 01 al 07	4,16	2,62	1,34	0,69	
	del 08 al 15	4,32	3,01	1,85	0,64	
	del 16 al 22	3,97	3,27	2,22	0,93	0,57
	del 23 al 30	3,47	3,31	2,41	1,27	0,50
OCTUBRE	del 01 al 07	3,14	3,14	2,60	1,57	0,73
	del 08 al 15	2,66	2,66	2,51	1,64	0,93
	del 16 al 23	2,41	2,41	2,41	1,78	1,13
	del 24 al 31	2,09	2,09	2,09	1,79	1,23
NOVIEMBRE	del 01 al 07	1,79	1,79	1,79	1,70	1,22
	del 08 al 15	1,61	1,61	1,61	1,61	1,23
	del 16 al 22	1,48	1,48	1,48	1,48	1,26
	del 23 al 30	1,23	1,23	1,23	1,23	1,12
DICIEMBRE	del 01 al 07	1,02	1,02	1,02	1,02	0,99
	del 08 al 15	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	del 16 al 23	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	del 24 al 31	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ENERO	del 01 al 07	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	del 08 al 15	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	del 16 al 23	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	del 24 al 31	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FEBRERO	del 01 al 07	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
	del 08 al 14	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
	del 14 al 21	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
	del 22 al 28	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
MARZO	del 01 al 07	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	del 08 al 15	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
	del 16 al 23	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
	del 24 al 31	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
ABRIL	del 01 al 07	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
	del 08 al 15	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33
	del 16 al 22	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
	del 23 al 30	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71

Tabla 4. Consumo medio de agua del pimiento

Fuente: Agromática, José (2012)

En su artículo José describe con detalles para calcular el riego diario necesario de manera manual se utiliza la fórmula de: *“Dosis de riego del pimiento [L/día]= Superficie (m²) · Volumen de agua (L/m².día)”*. Mientras que para calcular la dosis de agua para riego por goteo es diferente, pues primero es necesario calcular el caudal [L/s] de cada gotero, así como la distribución por m². Conocer este valor es sencillo y se puede obtener colocando un cubo debajo de un gotero en funcionamiento en un tiempo controlado (1 min, 30 s, etc.) y luego medir el volumen de agua. Luego de que se tenga este valor, se procede a sustituir en la fórmula que se presenta a continuación y el resultado es el tiempo de riego diario del pimiento: *“Tiempo de riego del pimiento [min/día]= (Volumen de agua (L/m².día)/ Caudal (L/h). XGoteros/m²) 60min/día”*, donde x es la cantidad de goteros por metro cuadrados que se hayan encontrado (Agromática, Jose, 2012).

2.2. Automatización

El termino automatización viene del griego “auto” y significa la ejecución por medios propios de un proceso siendo este capaz de trabajar sin la intervención del humano. En la mayoría de los casos la automatización se utiliza para el monitoreo y control dentro de un sistema manteniendo a este dentro de los parámetros adecuados.

Manuel Meraz en su trabajo de investigación para el Instituto Tecnológico de Tijuana comenta que la automatización es la facultad que poseen los procesos de trabajar de manera autónoma, es decir, por su propia cuenta. Se basa en los sistemas de producción Industrial para dar una definición más específica de lo que es la automatización comparando la inteligencia artificial con la actividad física humana.” *La Automatización Industrial se puede entender como la facultad de autonomía o acción de operar por sí solo que poseen los procesos industriales y donde las actividades de producción son realizadas a través de acciones autónomas, y la participación de fuerza física humana es mínima y la de inteligencia*

artificial, máxima.” Aclara que la inteligencia artificial es producto de la natural y que la artificial se logra programando ciertos procesadores para que las acciones puedan realizarse (Meraz, 2013).

Sin embargo, Luis Camila hace énfasis en los efectos de automatizar, ya que debido a la presión que existe hoy en día en la industria por ser competitiva y satisfacer la demanda a tiempo tienden a buscar salida con la automatización para poder mejorar la calidad de los productos, disminuir el lead time de la producción y mejorar la oportunidad con la que los productos llegan al consumidor final. Pero al utilizar la automatización también disminuye la mano de obra no calificada ya que una sola persona puede supervisar un sistema de producción automatizado donde antes había muchos empleados (Camila, 2006).

Cabe destacar que la automatización es aplicable en muchos campos de la industria ya que todo lo que es medible se puede mejorar, es una opción a la hora de aplicar mejora continua en una empresa y aunque es la que más inversión tiene también es la más factible a la hora de reducción de costos o aumento de la productividad.

2.2.1. Justificación de la Automatización

La implementación de la automatización requiere de una inversión substancial o de un gran desembolso de capital, el cual debe ser justificado a la alta gerencia, para esto se tocan temas tales como el desarrollo de los flujos de efectivo durante la vida del proyecto teniendo pendiente el valor presente del dinero. Sin embargo, son muchas las variables a tomar en cuenta para la toma de decisión de si se debe o no invertir en un proyecto de automatización. Existen cálculos para evaluar lo que es la productividad y de esta manera justificar la automatización en los cuales son tomados en cuenta los procesos de manufactura, calidad, mano de obra, etc... (Groover, 2007).

2.2.2. Tipos de Sistema de Automatización

A lo largo del tiempo la automatización ha ido evolucionando y las áreas de aplicación han incrementado, es por esto, que existen distintos tipos de sistemas de automatización que se adaptan a lo que se quiere automatizar.

2.2.2.1. Sistemas de Automatización Mecánica

La automatización mecánica se destaca por el uso que se le da en la producción en serie ya que evita que el humano cometa errores al realizar operaciones de forma manual, ayudando esto a que las dimensiones se mantengan dentro de la tolerancia establecida. Es usado también para el movimiento o traslado de material dentro de las empresas gracias a las relaciones de engranajes y poleas.

Este tipo de sistemas de automatización es la que se logra mediante la relación de engranajes, correas, palancas, entre otros. Es uno de los más antiguos y aún es muy utilizado en la actualidad para trabajos repetitivos como cortes, troquelado, moldeo (Huelva, 2010).

2.2.2.2. Sistemas de Automatización Neumática

La automatización neumática utiliza aire para hacer una fuerza mecánica lo que implica el uso de un compresor en la instalación. También se pueden transmitir diferentes tipos de gases con el fin de mover y hacer funcionar mecanismos.

Este sistema se utiliza para accionar herramientas rotativas donde la presión comúnmente para trabajar son de 7 atmosferas (Huelva, 2010).

2.2.2.3. Sistemas de Automatización Hidráulica

El sistema de automatización hidráulico tiene un uso parecido al sistema neumático donde la función principal es accionar un mecanismo y hacerlo funcionar. Es hidráulico porque en este se utilizan líquidos como agua, sustancias no oxidantes, aceites, entre otros, para regular fuerzas y transmitir movimiento. Es muy utilizado cuando se necesita una fuerza superior para accionar un sistema mecánico.

La hidráulica tiene aspectos muy similares a los neumáticos, la diferencia entre ellos son el tiempo de respuesta ya que en la hidráulica el tiempo de respuesta es menor al mando neumático (Huelva, 2010).

2.2.2.4. Automatización Eléctrica y Electrónica

Este sistema de automatización es uno de los más empleados y extendidos, ya que su campo de aplicación va más allá del campo industrial, es utilizado para mayor seguridad y confort de las personas así como también tiene su aplicación en la medicina moderna.

La automatización eléctrica es un sistema diseñado con el fin de aprovechar la capacidad de las máquinas en la realización de determinadas tareas que eran efectuadas históricamente por los seres humanos, así como para controlar la secuencia de dichas operaciones sin intervención humana. Pero el empleo de la automatización eléctrica no se limita solamente a la producción industrial, sino que ésta se utiliza en cualquier otro sector en que se requiera el funcionamiento independiente o semi-independiente de algún dispositivo (Isbel G, 2011).

Es la más extendida en la actualidad, los sistemas de automatización eléctrica y electrónica cuentan con dispositivos como motores, actuadores electromagnéticos, entre otros donde ésta se subdivide en componentes electrónicos discretos, digitales o mediante sistemas de lógica programable. El método de automatización electrónica más usado actualmente es el microprocesador (Huelva, 2010).

2.2.3. Automatización a nivel general

En la automatización es importante conocer todos los factores que intervienen en el proceso y se debe ser específico al momento de seleccionar el tipo tecnología a aplicar. Todo esto se logra haciendo uso de metodologías, las cuales brindan una serie de pasos y opciones que ayudan a clarificar el objetivo de la automatización y de esta manera estructurarla para facilitar la documentación de la misma (Lugo, Ybarra, & A, 2012).

Lujo, Juan y José consideran que para realizar un proyecto de automatización no solo se requiere de la idea de lo que se va a automatizar sino que se deben seguir estos pasos que ayudarán a concretizar la automatización (Lugo, Ybarra, & A, 2012):

- Descripción del sistema
- Diagrama de flujo
- Descripción de los equipos del sistema
- Requerimientos del cliente
- Selección del autómata programable
- Programación del PLC

Paso #1. La descripción del sistema se refiere a definir el procedimiento que debe seguir la operación desde que arranca hasta que se detiene por completo, incluye también la descripción de dispositivos como sensores, motores, variadores, entre otros que intervienen en el proceso. También es necesario en este paso la descripción de las variables a controlar, las variables a medir, todo lo que se va a monitorear, que función tendrá cada dispositivo descrito, definir entradas y salidas. Dan como opción realizar esta actividad realizando entrevistas a operadores y encargados de mantenimiento del proceso así como también realizando visitas de campo.

Paso #2. Por definición el diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos de un proceso, este diagrama será útil para determinar cómo funciona realmente la automatización ya que es muy utilizado en las fases de mejora continua, diagnostico, diseño e implementación de soluciones, traslados de materiales, etc.

Paso #3. La descripción de los equipos del sistema es donde se integran todos los dispositivos que se involucran de una forma u otra en el proceso, aquí es donde se describe bien la función de cada dispositivo y se identifican las entradas y salidas del sistema, esto es lo que ayudara a conocer de manera más detallada el sistema y las funciones para las que fueron diseñados los dispositivos.

Paso #4. Los requerimientos del cliente se obtienen de las entrevistas realizadas en el primer paso (descripción del sistema) y es donde se indican las características de operación y de los equipos así como rango de operación y costos de los equipos.

Paso #5. La selección del autómata programable se refiere a la selección del PLC e indica que en este paso es importante realizar dos evaluaciones las cuales consisten básicamente en la selección del autómata per se y en la marca del mismo, esto se debe a las diferentes opciones que aparecen en el mercado y también por la compatibilidad del autómata con el sistema.

Paso #6. Para la programación del PLC los autores mencionan dos formas de programación las cuales son el método informal que es aquella programación que se hace a partir de las experiencias y conocimientos previos del programador ofreciendo una solución a un problema planteado aun cuando esta solución no sea la más óptima, por otro lado está el método formal, recomendado por los autores ya que consiste en un diagrama grafico de etapas y transiciones que ayudan a facilitar la programación del PLC elegido y a encontrar la manera más óptima de programación.

La metodología mencionada anteriormente puede ser considerada como una herramienta útil ante la complejidad que presente un proyecto de automatización ya que se obtienen muchos detalles del proyecto y se puede trabajar de manera estructurada.

2.3. Automatización en los invernaderos

Distintos estudios analizan la automatización de invernaderos en relación con la reducción de costos, calidad de los productos, mejoras en los procesos de cultivo y manejo de las variables.

Madge define la automatización en los invernaderos como aquel que puede trabajar sin la intervención del hombre manejando los parámetros con sensores, actuadores y softwares, obteniendo de esta manera una producción más eficiente que la de un invernadero normal (Madge, 2009).

David Alejandro agrega que las variables o parámetros como la temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y riesgo en los invernaderos pueden ser controlados mediante dispositivos electrónicos y que además gracias a su aplicación industrial se puede manejar grandes cargas (Carrillo & Vazquez, 2008).

Sin embargo, Noé explica que un sistema de cultivo con base en invernadero automatizado proporciona un microclima apropiado para la producción de frutas, flores y hortalizas ofreciendo una mayor productividad por metros cuadrados facilitando así las condiciones para producir fuera de época y con calidad competente dentro del mercado. Menciona que con el control que se tiene con las plagas, enfermedades del cultivo y otros factores ambientales son garantía de que la producción tendrá más oportunidad de comercializarse (Noe, 2012).

Jaime expone que al tener un control del monitoreo automatizado de las operaciones de un invernadero se garantiza el buen desarrollo del cultivo, factores como la temperatura del ambiente, la humedad del suelo, el riego, la dosificación adecuada de los fumigantes y abonos pueden ser controlados por la implementación de dispositivos electrónicos los cuales ayudaran con el monitoreo automatizado del invernadero (Jaime Andrés, 2012).

Estos autores consideran que la automatización en los invernaderos no solo mejora los procesos de cultivo, sino que también es una ventaja, ya que se tiene el control de cada factor que interviene en el proceso, por lo que se puede obtener las condiciones ambientales favorables para producir cultivos de mejor calidad y mayor cantidad.

Las ventajas que brinda la implementación de un sistema automatizado a un invernadero son varias. Con la implementación de tecnologías es posible mejorar la productividad de la tierra y de los materiales utilizados en los cultivos. Además de que un sistema automatizado, no solo brinda ventajas a los dueños de la estructura, sino que puede representar una mejora, a uno de los que se considera el más grave problema del momento, la escasez de agua. Así lo demuestra un estudio hecho en 2011 en el Distrito Federal de México expuesto a continuación;

Sistema	Consumo de agua Litros/m ²	Rendimiento kg/m ²	Rendimiento Litros/kg
Campo abierto	624	7	89
Invernadero sistema abierto	con 1,200	25	48
Invernadero sistema cerrado	con 1000	50	20

Tabla 5. Comparativas de producción de jitomate en 3 tipos de sistemas

Fuente: Jiménez Garrido, Daniel Alfredo (2011).

“Una de las soluciones a la problemática del agua en el país es la producción bajo invernadero, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua 80% del consumo de agua en el país se realiza para actividades agrícolas, es por ello que un sistema que haga un uso más eficiente del mismo es de vital importancia. Como puede observarse, un sistema automatizado de producción bajo invernadero proporciona un ahorro de más de 400% de agua.” (GARRIDO, 2011).

GARRIDO aclara que este estudio es una representación parcial pero que las cifras son aún más alarmantes cuando existen condiciones más críticas. Indica también que para el sistema de riego actual por ejemplo para las hortalizas, existe un estimado de un 40% de desperdicio de agua y costos elevados para el suministro de la misma. Un ejemplo de esta realidad es el caso de Guanajuato “, *en Guanajuato para regar las hortalizas salen de los acuíferos 416.25 millones de m³ de agua, en promedio llegan a los campos de cultivo 307.91 millones de m³ y se estima que para regar la superficie hortícola sólo se requieren 121.86 millones de m³. En este caso la ineficiencia a nivel parcelario es poco más de 150 % y de casi 250% en todo el proceso.*” (GARRIDO, 2011).

La nueva adquisición de tecnologías y la aplicación de las mismas a los procesos de agricultura y cultivo representan una ventaja competitiva para cualquier invernadero. Al aplicar estas tecnologías a los factores críticos, como lo son: el sistema de riego, temperatura, ventilación (control del CO₂), nutrición, e iluminación, se obtiene un ahorro en tiempo, materiales y costos, además de propiciar un microclima conveniente para obtener la calidad requerida de los productos cultivados.

Otra ventaja es que permite mezclar todos los sistemas mencionados anteriormente en un solo sistema. Todos los factores críticos pueden ser manejados desde una computadora principal, la cual se encarga de tomar decisiones en base a parámetros insertados en el programa al comienzo del proceso. Esta puede a la vez hacer posible de manera sencilla la fertirrigación, que al realizarse de manera manual se le dificulta a los irrigadores, por poder agregar la dosis exacta por cantidad de metros cuadrados.

2.2.1. Estrategias utilizadas en automatización de invernaderos.

Existen diversas maneras de como automatizar un invernadero y la estrategia a utilizar dependerá de que tanto se quiera controlar y sobre todo del tipo de invernadero, ya que para mantener los parámetros que se desean monitorear, es necesario manejar bien la estructura del invernadero. Es importante tener bien definido lo que se quiere lograr con la automatización en el invernadero y saber de los recursos que se disponen.

David y José Luis para su tesis de licenciatura de automatización de un invernadero propusieron automatizar los sistemas de temperatura, humedad relativa, riego y humedad del suelo de un invernadero, para ello utilizaron un PLC S7-200 alegando que este puede trabajar con varios sensores de manera simultánea y de esa manera poder tener el control de todos los sensores con un solo PLC. El tipo de invernadero utilizado fue el “Semi-Túnel” y simularon todo con un prototipo del invernadero hecho a escala (Carrillo & Vazquez, 2008).

Sin embargo, Hernán Octavio y Oscar Fabián en su trabajo de grado para optar por el título de ingeniero de Diseño & Automatización Electrónica hicieron el diseño y simulación del control climático para un invernadero y base de datos de registro. Utilizando un PLC Modicon PC-A984-145) para realizar una comunicación entre el PLC, el computador y la interfaz del usuario. Su propuesta se basa en controlar varios invernaderos desde una oficina reduciendo así la cantidad de empleados y mejorando de esta manera la planificación al tener una base de datos con los eventos que han ocurrido en el invernadero, lo que permitirá una optimización a través de la programación del PLC que es quien se encargara del monitoreo de todos los factores (Sarmiento & Solano, 2006).

Para la selección adecuada del sistema de actuadores para la ventilación, se basaron en la comparación de las ventajas y desventajas de los métodos de Ventilación Pasiva, Ventilación Activa y Refrigeración por evaporación en el cual indicaron que la ventilación activa les ofrece un control más preciso de la temperatura que los demás métodos, pero a pesar del gran control que se obtiene con este método el costo de implementación y funcionamiento es muy elevado, por lo que, fue descartado de su sistema de selección.

Por otro lado, la puesta en marcha del método de refrigeración por evaporación no es tan costoso como el de ventilación activa, pero el consumo de electricidad y agua es muy alto, por lo que, esto no es algo muy conveniente, a pesar de que su costo real depende de la cantidad y capacidad de los ventiladores a usar. Este método siempre dependerá de la humedad del aire exterior para la ventilación. Al evaluar las ventajas y desventajas del método Ventilación Natural o Pasiva se percataron de que es uno de los métodos más usados en la automatización de invernaderos (Sarmiento & Solano, 2006).

Algo que les ayuda es lo bastante económico y por ser el más usado, existen muchos estudios relacionados a este método. No obstante, no puede ser usado en invernaderos grandes ni tampoco en lugares donde existe mucho viento, ya que más que control climático esto se convertiría en control eólico en un invernadero. Finalmente, y luego de las comparaciones fue seleccionado el método de ventilación pasiva por las características mencionadas anteriormente (Sarmiento & Solano, 2006).

Asimismo para la selección del sistema de calefacción ellos estudiaron las ventajas y desventajas de métodos (Sarmiento & Solano, 2006). Los cuales son:

- Calefacción Anti-Heladas
- Calefacción por Agua
- Calefacción por Aire
- Calefacción por Luz Solar
- Calefacción con Energía Geotérmica
- Paredes doble de plástico

En primer lugar fue evaluado el método de calefacción Anti-Heladas, el cual comparado con los demás no es tan costoso, utiliza diferentes combustibles algo que es muy bueno y protege de las heladas; no obstante, la temperatura dentro del invernadero no es uniforme y si no hay una buena ventilación puede ocasionar el daño de los cultivos. Sin embargo, la calefacción por Agua es bastante uniforme y permite un buen lazo de control aparte de que es bastante efectivo, a pesar de esto es un método bastante costoso, aumenta significativamente la humedad relativa y también causa pérdidas de calor (Sarmiento & Solano, 2006).

Por otro lado, la calefacción por aire es un método relativamente económico, se adapta bien a cualquier invernadero y al igual que el método de calefacción anti-heladas, este también utiliza diferentes combustibles, no ofrece temperatura uniforme y la instalación del sistema es complicada. La calefacción con luz solar es buena candidata porque es un tipo de energía renovable, por lo que puede ser viable ya que una fuente de energía muy prometedora, pero la implementación de este método es muy costoso y para lograr la integración de este sistema con el invernadero existe cierta dificultad (Sarmiento & Solano, 2006).

En el caso de la energía geotérmica mencionan que es la más prometedora y que una vez implementado su funcionamiento es bastante económico. Ahora bien, este es uno de los métodos menos difundidos y hay que analizar el costo de los estudios hidrogeológicos, aparte de que donde hay concentración de agua caliente no es propicio para la agricultura (Sarmiento & Solano, 2006).

Por ultimo está el método de paredes doble de plástico método que fue seleccionado ya que es bastante económico, la instalación es sencilla, consta de un ahorro energético de hasta un 40%, lazo de control sencillo de implementar teniendo como desventaja de que en épocas muy frías puede no ser eficiente y no permite buena recepción de luz cuando no está inflado (Sarmiento & Solano, 2006).

En síntesis, con los métodos ya seleccionados, Sarmiento y Solano procedieron a ejecutar la metodología de control del PLC para lograr el monitoreo de la temperatura y movimientos de componentes mecánicos involucrados en la ventilación. Como resultado muestran el control de la temperatura utilizando ventilación cenital, control del sistema de conservación del calor, comunicación MODBUS y detallaron los datos que se arrojaran en la base de datos después de controlar el microclima del invernadero, como lo son las variables y detalles más importantes para un cultivador, como es de esperar con esta base de datos se optimiza la cosecha ya que esa retroalimentación puede ser evaluada en el tiempo (Sarmiento & Solano, 2006).

Una estrategia similar pero empleando el uso de microcontroladores utilizaron los ingenieros Libardo Hernández, Wilman Pineda y Dariel Alexandro. Además de agregarle un atributo diferente a su proyecto titulado Sistema de control de humedad y temperatura para invernaderos, se enfocaron en el control de la

humedad y la temperatura comunicando todos los sensores y actuadores de manera distinta, la cual básicamente realiza la comunicación inalámbricamente para economizar tiempo y dinero en la instalación de los equipos; para la transmisión de información entre los sensores y actuadores utilizaron el transmisor *TRF-2.4GHZ*, cuenta también con interfaz gráfica y base de datos para brindar un análisis de datos en la computadora. Y el microcontrolador usado fue el de la serie 16F8xx; para simulación usaron PROTEUS ISI, el lenguaje de programación C y como compilador utilizaron el software PIC C COMPILER, ya que este les ofrece un sistema de operación en tiempo real (Rangel, Pineda, & Ruiz, 2008).

En primer lugar hacen una selección de todos los componentes que utilizarán y ofrecen una breve descripción y motivo por el cual será utilizado el componente. Por ejemplo, la interfaz gráfica a usuario fue manejada con un teclado 4 x 4 y una pantalla LCD-GRAFICO porque con este tipo de pantalla y utilizando softwares de programación pueden lograr la interfaz que desean. Al igual hicieron con el modulo sensor, del cual comentan que es un sensor calibrado de humedad con salida digital, este dispositivo fue seleccionado porque también cuenta con lectura de la temperatura y ya que esto es lo que se quiere monitorear, este sensor es el ideal para el proyecto (Rangel, Pineda, & Ruiz, 2008).

Al ensamblar todo, el funcionamiento del conjunto es registrar las variables de temperatura y humedad para luego controlarlas con el encendido y apagado de calefactores, apertura de micro-aspersores de agua y apertura automática de ductos de ventilación programando; así rutinas para mantener todo correcto y también poder lograr controlar los niveles de CO₂ y a través del encendido de iluminación incrementar la producción de los cultivos (Rangel, Pineda, & Ruiz, 2008).

CAPÍTULO

III

3. CASO DE ESTUDIO: INVERNADERO DE LA CRUZ

3.1. Historia

Invernadero de la Cruz es una empresa surge en el año 2009 cultivando sus productos a la intemperie. Sin embargo, años más tarde, las intensas y constantes lluvias en temporadas ciclónicas terminaban destruyendo sus cultivos, al igual que el ataque de plagas y la radiación solar en tiempos de sequía azotaba sus cultivos y los volvían inutilizables para su venta.

Debido a esta y otras razones, tuvieron la necesidad de buscar una forma de mantener sus cultivos protegidos y obtener mejores niveles de calidad para ser más competitivos. Así fue como decidieron cambiar su forma de cultivo tradicional al cultivo protegido o invernadero. El invernadero inició sus labores con su nueva infraestructura en el año 2011, con la visión de convertirse en uno de los mayores proveedores de pimiento mini bell de la Republica Dominicana.

3.2. Organigrama

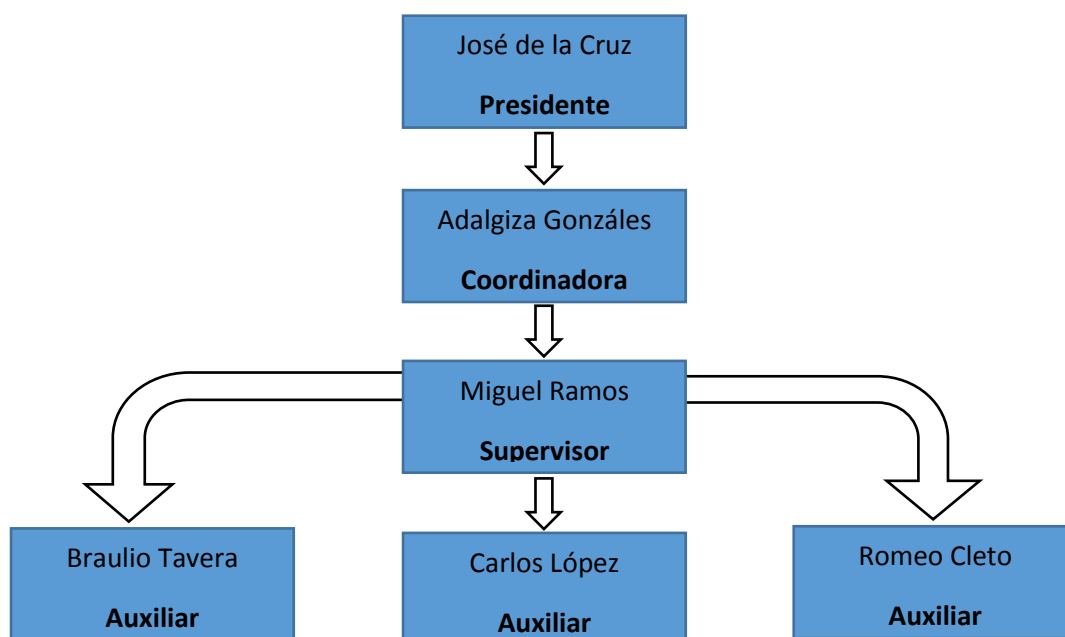


Figura 7. Organigrama del Invernadero de la Cruz

Fuente: Invernadero de la Cruz

3.3. Ubicación geográfica del invernadero

El Invernadero de la Cruz está situado en la carretera principal Maimón-Cotuí, la lechosa, municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez a unos 105 km de Santo Domingo a 19°04' latitud norte 70°09' latitud oeste al norte de la Sierra de Yamasá y próximo al Río Yuna. Esta carretera es considerada una calle comercial por su tránsito de personas.

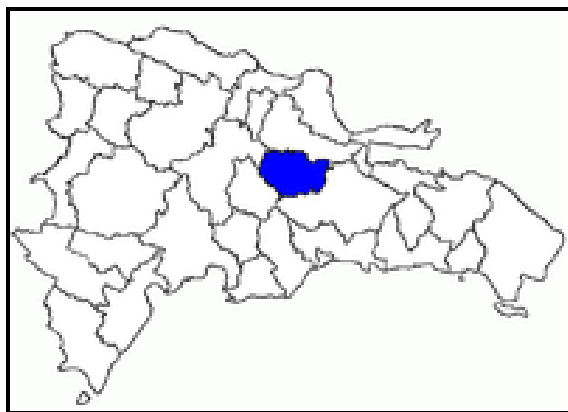


Figura 8. Provincia de Sánchez Ramírez

Fuente: en.wikipedia.org

3.3.1. Límites de la provincia Sánchez Ramírez

Limita al norte con la provincia Duarte, al este y sur con la provincia Monte Plata y al oeste con las provincias Monseñor Nouel y La Vega.

Altitud: 66 msnm

Superficie: 619,88 km²

3.3.2. Clima del Municipio de Cotuí

Cotuí tiene un clima tropical como en toda la isla. Hay precipitaciones durante todo el año. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La clasificación del clima de Köppen-Geiger⁵ es AF (Clima ecuatorial)⁶. La temperatura media anual se encuentra a 26.0 °C. Hay alrededor de precipitaciones de 1733 mm. (Climate-Data, 2015)

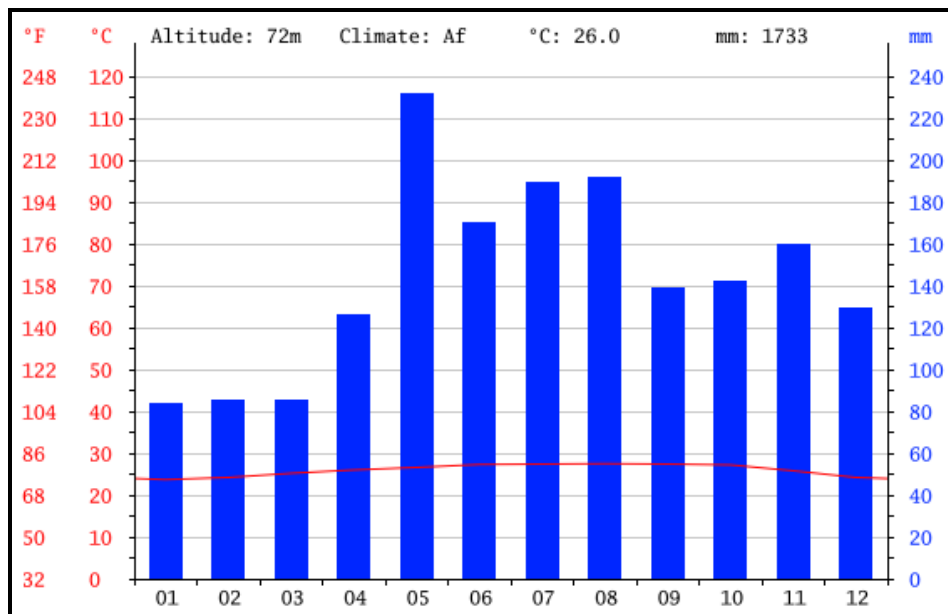


Figura 9. Climograma del municipio de Cotuí

Fuente: Climate-Data (2015).

El mes más seco es enero con solo 84 mm, mientras que la caída media en mayo es de 232 mm. El cual en realidad es el mes en el que tiene las mayores precipitaciones durante el año.

⁵ Clasificación Köppen-Geiger: Consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan dicho tipo de clima.

⁶ Clima ecuatorial: es un subtipo de clima tropical que se caracteriza por las temperaturas altas, en donde la media anual siempre es superior a 27 °C a nivel del mar y casi constante durante todo el año con una amplitud térmica anual inferior a 3 °C, además de lluvias abundantes y regulares siempre superiores a 1500 o 2000 mm por año.

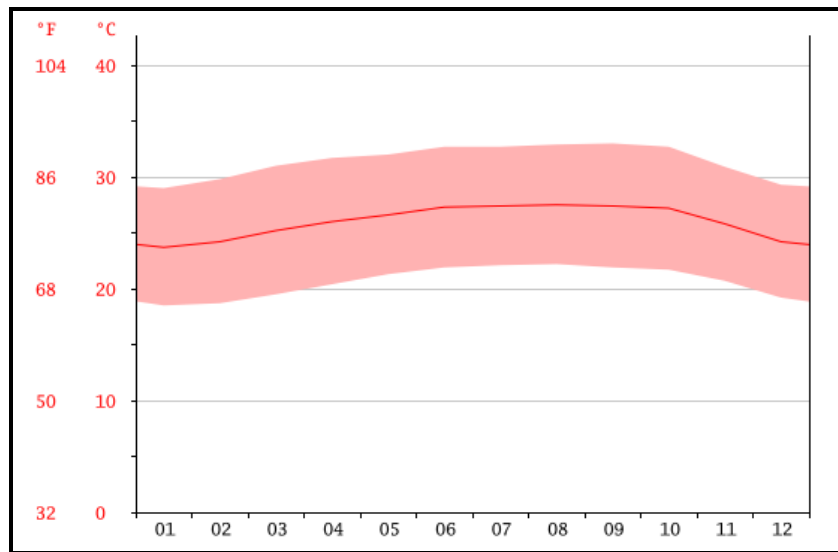


Figura 10. Diagrama de temperatura del municipio de Cotuí

Fuente: Climate-Data. (2015).

El mes más caluroso del año con un promedio de 27.5 °C de agosto. El mes más frío del año es de 23.7 °C en el medio de enero.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	84	85	85	126	232	170	189	192	139	142	160	129
°C	23.7	24.2	25.2	26.0	26.6	27.3	27.4	27.5	27.4	27.2	25.8	24.2
°C (min)	18.5	18.7	19.5	20.4	21.3	21.9	22.1	22.2	21.9	21.7	20.7	19.2
°C (max)	29.0	29.8	31.0	31.7	32.0	32.7	32.7	32.9	33.0	32.7	30.9	29.3
°F	74.7	75.6	77.4	78.8	79.9	81.1	81.3	81.5	81.3	81.0	78.4	75.6
°F (min)	65.3	65.7	67.1	68.7	70.3	71.4	71.8	72.0	71.4	71.1	69.3	66.6
°F (max)	84.2	85.6	87.8	89.1	89.6	90.9	90.9	91.2	91.4	90.9	87.6	84.7

Tabla 6. Tabla climática del municipio de Cotuí

Fuente: Climate-Data (2015).

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 148 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 3.8 °C.

3.4. Estado actual del Invernadero de la Cruz, Cotuí, Sánchez Ramírez

El Invernadero de la Cruz es un invernadero tipo Inacral o Asimétrico y tiene una estructura pequeña ya que solo consta con 1800 metros cuadrados, los cuales se utilizan en su totalidad para la plantación de pimientos mini bell desde el año 2011 (Ver anexo 1). La producción media es de 3,968 libras mensuales; considerando que es necesario alrededor de 45 días para el desarrollo de la planta y los posteriores 8 meses son de producción. El 70% de su producción es exportado y el restante 30% es vendido localmente.

FECHA	CANTIDADES EN LIBRA
5/12/2014	12
12/12/2014	55
18/12/2014	380
23/12/2014	408
26/12/2014	419
30/12/2014	513
6/1/2015	548
9/1/2015	328
13/1/2015	664
16/1/2015	410
20/1/2015	579
23/1/2015	440
30/1/2015	556
6/2/2015	1029
13/2/2015	1007
20/2/2015	780
27/02/2015	800
6/3/2015	1374
13/3/2015	1274

Tabla 7. Producción de pimientos mini bell en el cuatrimestre Diciembre-Marzo

Fuente: Invernadero de la Cruz

Se encuentran distintos factores que pueden actuar en la productividad y en los costos de los procesos de un invernadero. En cuanto al proceso de cultivo de pimientos mini bell se debe tomar en cuenta los diferentes procesos que actúan en el invernadero, como la forma de riego de agua y abono, el control del microclima dentro del invernadero y la producción de éste en el proceso actual.

Actualmente cuenta con un supervisor que de acuerdo a su práctica y entendimiento realiza las decisiones relativas a los ajustes que sean necesarios, es decir, riega la plantación con la cantidad de agua y abono necesario de manera manual.



Figura 11. Entrada del Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

3.4.1. Descripción del proceso actual

Para los agricultores es esencial cumplir con las exigencias de los clientes. Para esto es imprescindible gozar de un buen cultivo empleando cualquier modelo de herramientas que posibiliten enriquecer y mejorar el proceso.



Figura 12. Pozuelo usado para la toma de agua en el Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

3.4.1.1. Proceso del control del Riego

Actualmente los operarios controlan manualmente las condiciones de humedad del invernadero encendiendo 2 veces al día (9 AM y 3 PM) por 10 minutos una bomba de agua, la cual a su vez, utiliza mangueras con pequeños orificios para regar toda la plantación. A través de dichas mangueras son distribuidos los nutrientes necesarios por el cultivo y el abono en una proporción de 10 libras de abono por cada 200 litros de agua. (Ver anexos 2 y 3)



Figura 13. Tubería de riego en el Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

Los nutrientes son mezclados en un tanque y luego adheridos manualmente a un pozuelo. Luego se abren unas válvulas de manera manual y se enciende la bomba extractora de agua y a través de tubos PVC lleva el agua a las pequeñas tuberías de mangueras que están localizadas en los distintos canales del invernadero.



Figura 14. Mangueras de riego en el Invernadero de la Cruz 15
Fuente: Invernadero de la Cruz

3.4.1.2. Proceso de control del microclima

El Invernadero de la Cruz está cubierto por mallas anti-virus, anti-insectos o anti-áfidos, las cuales proporcionan protección contra la entrada de plagas y reducen el uso de insecticidas; además de que poseen una larga vida útil. Dichas mallas recubren toda el área de los cultivos, y permiten una constante circulación de aire.

Con respecto a la iluminación, las mallas permiten la entrada de los rayos del sol, siendo este el único sistema de iluminación existente, esto quiere decir, que no tienen ningún otro sistema alternativo para brindarle iluminación a sus cultivos, ni siquiera en las noches, tanta que tiende a ser fría y el invernadero

se mantiene totalmente oscuro y con bajas temperaturas. Similar es el caso del CO₂ dentro del invernadero, pues este factor no es controlado y es ignorado completamente en el sistema actual, al igual que desconoce su efecto sobre en el desarrollo de las plantas.



Figura 16. Techo en mallas del Invernadero de la Cruz

Fuente: Invernadero de la Cruz

3.4.1.3. Proceso de Producción

El proceso inicia con la siembra de la semilla en todo el invernadero. Luego se les da un periodo de 45 a 60 dias para que empiece a producir frutos. Cuando ya estan produciendo, se recolectan los frutos diariamente de 7AM hasta las 4PM por 3 personas. El pimiento mini bell es recolectado durante 8 meses, por lo cual, la planta se mantiene produciendo sin problemas. Se produce pimiento mini bell en 3 variantes distintas: Rojo, Amarillo y Naranja, sembrados en distintas áreas del invernadero. De lo que se produce el 70% es exportado y el restante 30% se le vende a una empresa comercializadora local.

Durante el proceso de crecimiento se utilizan diferentes abonos, como por ejemplo: durante la floración se utiliza Fersan Crecimiento, Floración y balance. Después de la primera etapa se abonan con calcio, Fersan Producción, Potasio y hormonas de agroquímico plus.

También están los insecticidas que son agregados cada dos meses. Los insecticidas utilizados son: Abamectina, Bestimet y Muralla. Estos se utilizan, al igual que los abonos, en diferentes cantidades dependiendo la etapa en la que se encuentran las plantas.

3.4.2. Problemas de los sistemas actuales

En el Invernadero de la Cruz existe actualmente una diversidad de problemas, los cuales fueron identificados mediante observaciones hechas estudios de campo realizados en varias visitas y otros a través de entrevistas realizadas a los empleados del lugar.

3.4.2.1. Microclima

El microclima actual tiene algunas fallas, muchas de éstas debido a la inexperiencia y al desconocimiento del personal que labora en el lugar. Otras se le pueden acreditar a la manera en que está construido el invernadero.

En el sistema actual no existe algún sistema de medición de la temperatura o de CO₂, y esto acompañado de la falta de extractores y ventiladores provocan un ambiente totalmente descontrolado. Los trabajadores no pueden hacer nada ante las altas y bajas temperaturas que afectan durante el día y el año. Esto permite una gran concentración de CO₂ dentro de la estructura.

Otro problema es el descontrol de la humedad que existe, originado en principio porque el invernadero no tiene cortinas en la parte interior para proteger la plantación de la radiación ni la lluvia. Este es un problema serio pues la cantidad de radiación que reciben las plantas causa laceraciones y quemaduras a las hojas y frutos del cultivo. Además el proceso fotosintético se ve afectado porque la cantidad de luz que penetra no está difundida de manera uniforme sobre toda la plantación. Este es un factor que no permite la conservación de una temperatura homogénea, la que está supuesta a ser la temperatura óptima.

En los tiempos de lluvia se producen goteos intensos y aunque penetra agua por toda la estructura, existen lugares donde hay orificios que tienden a crear charcos e irregularidad en el suelo y dañar la plantación en esa área. Se han registrado situaciones en las cuales debido a la intensidad de las lluvias, específicamente durante tormentas, se ha inundado el lugar y se ha perdido la cosecha por completo llegando a perder cultivos de hasta 1,500 libras, representando una pérdida de aproximadamente US\$4,000.

La entrada de aire frío y caliente afecta la humedad del aire y a su vez la humedad relativa. Es decir, que si existe un constante choque de vientos calientes y fríos, el ambiente estará más húmedo y a la hora de regar las plantas es posible que se le suministre más agua de la necesaria, pues la humedad en el ambiente le está brindando una proporción, y por tanto, se está desperdiciando una cantidad de agua considerable.

Del mismo modo que la temperatura no es controlada, la humedad relativa tampoco lo es y esto conlleva a que si la humedad relativa está más alta de los valores recomendados, se favorece el crecimiento de hongos tanto en los cultivos como en la estructura de madera, la cual se pudre y deteriora

cada día más. El deterioro constante de la madera por los altos niveles de humedad en el ambiente, han llevado a los dueños del invernadero a cambiar los postes que sostienen la infraestructura cada 2 y 3 años.

También está el problema de la acumulación de calor, lo que implica altas temperaturas en momentos calurosos provocando la deshidratación de la planta, llegando inclusive a secarla por completo. A esto se le agrega el poco rendimiento de los cultivos, pues el aumento de la temperatura aumenta la velocidad con la que se desarrollan los productos y por tanto, reduce su ciclo de vida. Faltan calentadores de aire para proveer un mejor clima en los tiempos de frío. Esto suscita que los productos sean más pequeños, se propaguen plagas y hongos. Todo esto disminuye la producción de 3 mil libras mensuales, hasta 2 mil libras.

La luminosidad es nula en las noches, debido a que no existen lámparas en la estructura. Esto provoca un crecimiento más lento de las plantas, puesto que la iluminación es una parte importante en el proceso fotosintético.



Figura 17. Interior del Invernadero de la Cruz

Fuente: Invernadero de la Cruz

3.4.2.2. Riego

Los niveles óptimos de humedad relativa que son requeridos del suelo para que un pimiento germine y produzca frutos de calidad deben ser entre 65 y 70%, pero esto es algo que no se toma en cuenta en el Invernadero de la Cruz a la hora de realizar el riego. Son múltiples los problemas identificados en este sentido, debido a que todo el riego se realiza en base a observación y experiencia del supervisor del invernadero.

Se enciende la bomba 2 veces al día por 10 minutos de manera manual, sin prestar atención a los cálculos que se deben hacer para obtener la cantidad de litros de agua necesarios para la cantidad de tierra y el tipo de cultivo que se desea regar. Esta rutina solo varía si el supervisor lo considera necesario. Esto conlleva a un mayor gasto de agua, por el hecho de que no se sabe si en verdad las plantas necesitan más agua en esos momentos. A esto se le une los días que la persona a cargo enciende la bomba, y por diferentes razones y distracciones la deja encendida por mayor o menor tiempo del establecido.

Además, en los días que llueve no se tiene conocimiento de que tan húmeda esta la superficie, por lo que, tienden a tomar decisiones simplemente por cómo ven la tierra, si está muy húmeda o no. Así mismo los tiempos donde hay más calor, se le agrega la misma cantidad de agua, o un poco más dependiendo de lo que considere el supervisor. En estos casos suelen tomar puñados de tierra y con el tacto determinar si las plantas tiene la cantidad de agua suficiente o la tierra está muy árida aun.

No siempre se tiene agua a disposición para regar el cultivo de la manera adecuada. Esto sucede porque no se planea la cantidad de agua necesaria para regar contra el agua que se tiene en los contenedores. Tampoco se controla el flujo de agua para llenar la cisterna y el pozuelo en los tiempos de

sequía. Es decir, no se pronostica el uso del agua, y por tanto tienen tiempo de escases en los cuales los cultivos se deshidratan, originando tardanzas en la producción.

Mezcla imperfecta de nutrientes para la fertirrigación. Todos los nutrientes y abonos se vierten en un tanque y son mezclados con un palo de madera agregándole una pequeña porción de agua. Luego uno de los empleados empieza a batirlos por aproximadamente 10 minutos. Luego de que siente que ya todo está bien mezclado, se vierte la mezcla en un contenedor que está conectado a la tubería por la cual fluye el agua que es suministrada al cultivo. (Ver anexo 4)



Figura 18. Mezcla de nutrientes para el riego en el Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

El riego vespertino se realiza con la misma cantidad de agua que la matutina sin tomar en cuenta que la evaporación del agua en las tardes es más rápido que en las mañanas. Esto provoca que las plantas no reciban la cantidad requerida para su óptimo desarrollo.

No se riega las plantas en las noches, con la creencia de que las noches son frías y la humedad que se genera es suficiente. A esto hay que agregarle que no todas las noches son frías, pues en tiempos de verano las noches son más calurosas.

Se utilizan tuberías PVC regulares, las cuales son propensas a guardar bacterias y a producir algas según pasa el tiempo. Además, todas las válvulas que se pueden apreciar en la figura 15 son manejadas de manera manual. Estas válvulas controlan las entradas de los nutrientes, insecticidas y fertilizantes que se mezclan en el tanque azul presentado anteriormente y otros suplementos que son agregados cada cierto tiempo para el cuidado de la tierra. Esto es un riesgo para la producción pues, como ha pasado antes, al encargado se le olvida abrir o cerrar una de esas válvulas, en el cual se puede afectar el cultivo y hasta perder la cosecha, y con ello una pérdida económica estimada de US\$2,500 en un mes.



Figura 19. Válvulas para el control de riego en el Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

La bomba de riego representa un problema en especial, y es que debido a que es una bomba de agua que funciona con combustible diesel existen varios riesgos. Uno de ellos es que al ser quemado el CO₂ producido es tóxico y representa un riesgo para la vida de los trabajadores pues al ser inhalado causando

daños a los pulmones. Otro problema es que el humo absorbido por las plantas poniendo en riesgo el bienestar y la calidad de los cultivos pues el exceso de CO₂ retarda el crecimiento de las plantas y al brote de frutos. (Ver anexo 5)



Figura 20. Bomba de agua diésel para el riego en el Invernadero de la Cruz
Fuente: Invernadero de la Cruz

Esta bomba dispensa 30 litros por minuto lo cual indica que en 10 minutos propensa 300 litros para los 1800 m² del invernadero, 600 litros al día. Pero esta cantidad no es la suficiente para satisfacer la necesidad de estas plantas, pues el promedio está entre los 900 y 5500 litros por día. Los valores van a variar dependiendo la temporada del año y la etapa de gestación en la que se encuentre el cultivo. Pero así mismo como se dispensa esa poca cantidad de agua en tiempos donde se necesita menos agua y se le dispensa más de la necesitada, agua que por ser mal administrada luego se necesita en tiempos de sequía.

CAPÍTULO

IV

4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE PRODUCCIÓN PARA EL INVERNADERO DE LA CRÚZ

Atendiendo a la situación expuesta del Invernadero de la Cruz, se hace necesario proponer un diseño automatizado que garantice la sostenibilidad y eficiencia del sistema productivo del mismo. Para la realización de la misma, se utilizará la metodología propuesta por José Lugo, Juan Ybarra y Eduardo Romero, la cual presenta 6 pasos para crear un proyecto de automatización exitoso y con resultados favorables.

4.1. Descripción del sistema

El sistema consiste en el control y monitoreo continuo de los parámetros adecuados para el Invernadero de la Cruz, aplicando automatización a cada una de las variables que intervienen en la producción del invernadero como lo son la temperatura, humedad relativa, iluminación, CO₂ y riego.

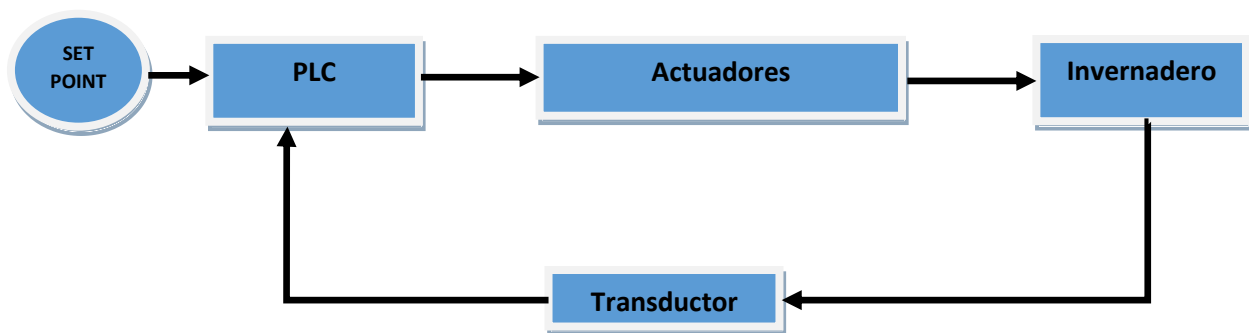


Figura 21. Sistema de Control
Fuente: Los autores

El sistema es de lazo cerrado y está compuesto por una red de sensores que colectan y envían la información necesaria al controlador para que el mismo analice y tome decisiones. Los actuadores ejecutan las órdenes recibidas del controlador, para así mantener los parámetros establecidos para el invernadero.

El set point o punto de referencia de la temperatura será establecido entre 10 y 25° C, pues según la información recolectada, es la temperatura óptima para la germinación de los pimientos. El controlador o PLC será el delegado de comparar la diferencia de valores obtenidos en la señal de realimentación enviada por un sensor termopar contra la señal establecida en el set point. Luego el controlador realizará una tarea de control correctiva ya sea activando los extractores de aire, ventiladores, manejar la intensidad de las bombillas o una combinación de estos elementos para mantener los valores establecidos en el set point.

El actuador será accionado en busca de mantener una temperatura consistente según lo establecido por el usuario. Además, bajo ninguna circunstancias debe permitir que la temperatura caiga por debajo de los 0° Celsius, ni que suba por encima de los 40° Celsius, ya que son las temperaturas mínima y máxima respectivamente que pueden soportar las plantas antes de fallecer.

Así mismo el PLC seleccionado, Allen Bradley MICROLOGIX 1500 PROCESSOR MODULE 1764-LRP SERIES C, se encargará de que la humedad relativa se mantenga entre un 50 y un 60 %. Para esto, el sistema debe tomar en cuenta la humedad existente en el aire y la humedad de la tierra provista por los sensores de temperatura y de humedad que estarán distribuidos por todo el invernadero. Luego de coleccionar la información de los sensores, el controlador enviará una señal para encender las bombas y otra señal para abrir las válvulas. Posteriormente enviará otros impulsos para detener el riego, por considerar que ya se ha dispensado la cantidad de agua suficiente para alcanzar el valor óptimo establecido.

En cuanto a la iluminación se refiere, el controlador regulará la intensidad de las lámparas utilizadas, para lograr una intensidad constante e incentivar un proceso fotosintético adecuado. Para lograr esto, el controlador utilizará la información proporcionada por sensores fotoeléctricos que estarán localizados por todo el invernadero.

Similar a la temperatura, el control del CO₂ utilizará los ventiladores y extractores para mantener los valores de CO₂ dentro de los 1,000 a 2,000 ppm. Dichos valores serán obtenidos a través de un sensor de CO₂.

Para completar el sistema de control hay que mencionar el sistema de riego, el cual va de la mano con la humedad en el ambiente. El sistema de riego también se velará por proveer la cantidad de nutrientes y el fertilizante necesario en cada etapa de su crecimiento, evitando la sobre nutrición o falta de nutrición para que las plantas produzcan en abundancia y el proceso fotosintético sea más efectivo.

4.2. Diagrama de flujo

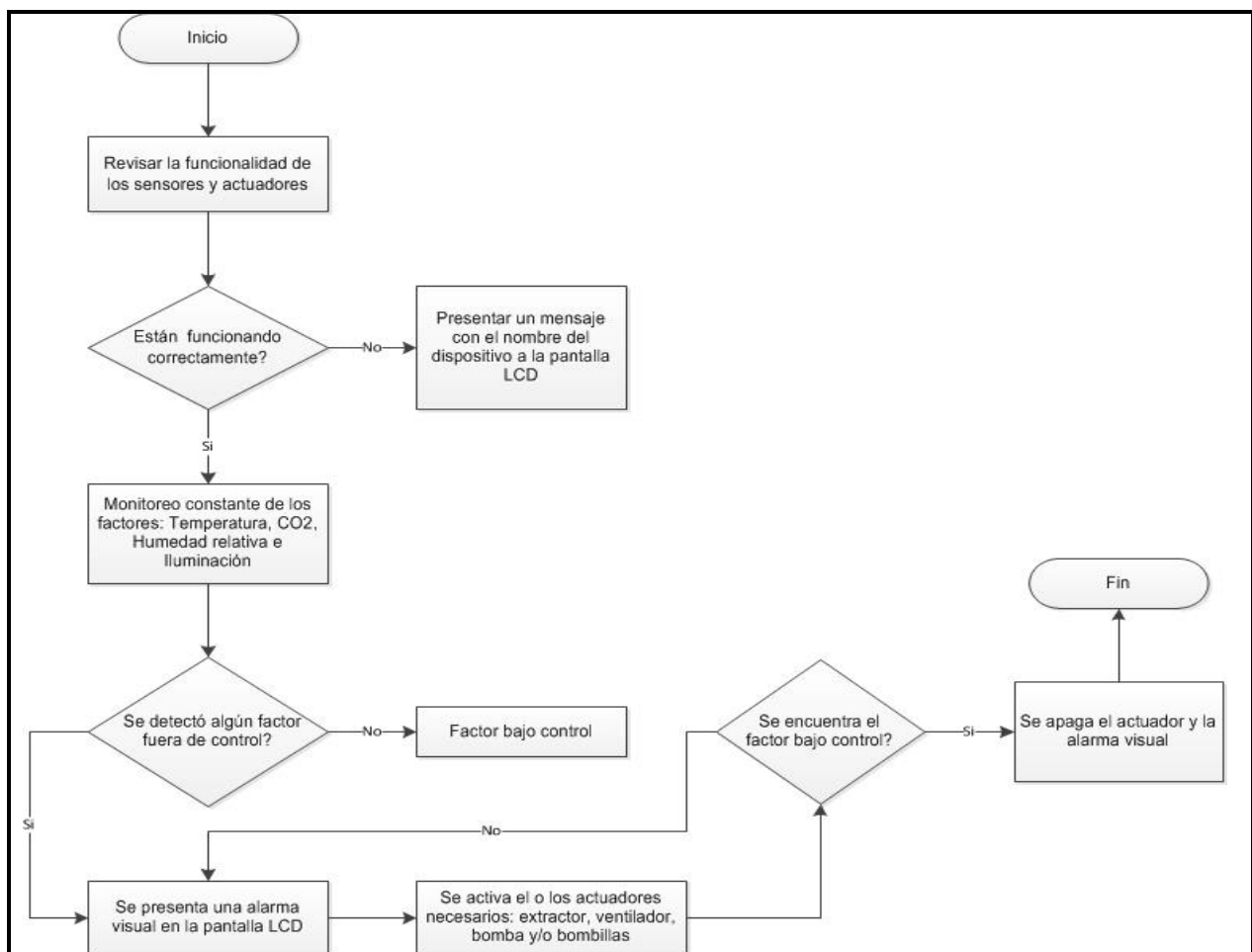


Figura 22. Diagrama de Flujo del Sistema de Control Propuesto

Fuente: Los autores

El sistema de control ambiental tiene el propósito de evitar que alguno de los factores productivos del invernadero se salga de control. Esto se refiere a que se mantenga dentro de los rangos y parámetros establecidos previamente en el set point.

Lo primero que realizará el PLC es revisar que todos los sensores y actuadores están enviando y/o recibiendo pulsos, esto se haría para comprobar que el sistema esta bien y que no haya interrupciones, como cables cortados, entre él y sus dispositivos. Luego de que se haya comprobado se empieza a tomar muestras en intervalos especificos. Esta data recolectada será comparada con los parámetros establecidos y de no encontrarse nada anormal pues el controlador seguirá revisando hasta encontrar algun problema en uno de los factores a observar. Cuando encuentre alguno de los factores fuera de los parámetros, el controlador alertará al usuario de la situación a través de un mensaje en la pantalla LCD y a la vez tomará las decisiones necesarias y activará el o los actuadores que ayudarán a retornar los factores a la normalidad. Cuando ya el PLC reciba la señal de que todo esta dentro de los parámetros nueva vez, se apagan los actuadores y vuelve a su estado de sensado y recolección de información.

4.3. Descripción de los equipos del sistema

Los dispositivos a utilizar son los siguientes:

4.3.1. Sensor de temperatura:

El sensor seleccionado para medir de la temperatura es el Sensor Termocupla Tipo K 0-400°C Probe 2M 6.6 Pies de la compañía Assisi Electric. Es un sensor cubierto de metal que soporta temperaturas desde 0 hasta 400° Celsius. (Ver anexo 6)

Entre las configuraciones que ofrece el sensor termopar esta la configuración “tipo K”, es el más adecuado y posee buena resistencia a la oxidación, tiene una amplia variedad de aplicaciones y está

disponible a un bajo costo en comparación con los demás. Su función en el invernadero será el monitoreo continuo de la temperatura en varios puntos estratégicos que den la temperatura completa dentro del invernadero para que ésta pueda ser controlada a través de los actuadores involucrados para mantener la temperatura dentro de los parámetros deseados.

4.3.2. Ventilador

Los ventiladores son máquinas rotativas que se encargan de conducir una corriente de aire en una dirección deseada. Se utiliza para ventilar espacios habitados; refrescar objetos, máquinas y lugares; y también se usan para mover gases a través de conductos.

El ventilador axial tiene la característica de que puede recoger e impulsar el aire en la misma dirección en la que rotan sus aspas. Para el invernadero se utilizará el ventilador 2102 series JM Plate - Plate Axial Fans de la familia Flaktwoods, ya que este ventilador permite controlar la velocidad, el motor viene con una protección de fábrica y por la simplicidad que representa su instalación y el bajo costo que tiene. (Ver anexo 7)

Los ventiladores serán colocados en dos puntos laterales del invernadero para ser activados a través del controlador para refrescar el invernadero, insertando aire del exterior y hacer fluir los gases dentro del mismo y de esta manera evitar la acumulación de CO₂ y altas temperaturas.

4.3.3. Extractor

Los extractores al igual que los ventiladores tienen la función de mover gases (aire), pero éstos son en dirección opuesta. Es decir, mientras la función de los ventiladores es absorber y suministrar aire para refrescar y mantener un flujo de aire constante dentro de un lugar, los extractores hacen todo lo contrario

evacuando el aire que se tiene en un espacio determinado, eliminando así cualquier corriente o flujo de aire existente.

Del mismo modo existen dos tipos de extractores: axiales y centrífugos. Estos tienen las mismas características que los ventiladores, con la salvedad expuesta anteriormente.

Ambos tipos de extractores pueden ser utilizados en cualquier ambiente, pero el seleccionado para la propuesta es el extractor axial, pues es más conveniente para instalar en paredes, y se tiene planeado colocarlos frente a los ventiladores, solo que al costado opuesto. El extractor seleccionado es el extractor Axial HXB-T 400/L de Soler y Palau Gama, ya que es muy usado en naves industriales y fábricas, se destaca por su alto rendimiento y bajo consumo eléctrico. (Ver anexos 8 y 9)

4.3.4. Sensores de Humedad

Existen muchos tipos de sensores de humedad destinados a distintas áreas de aplicación. Se utilizará para este proyecto el sensor por conductividad gracias a su compatibilidad con el controlador. Su función básica dentro del invernadero será emitir señales al control de mando informando sobre nivel de humedad existente en varios sectores del invernadero para de esta manera mantener la humedad dentro de los parámetros deseados.

Se ha seleccionado el sensor MAS-1, de la empresa DECAGON. Dicho sensor entre otras ventajas (Ver anexos 10 y 11):

- Mide la humedad en intervalos de 1 segundo
- Compacto
- Soporta temperaturas entre -40 to 60°C
- Protección contra alto voltaje

4.3.5. Pantalla LCD

Las Pantallas de Cristal Líquido (LCD del inglés, Liquid Cristal Display) permiten mostrar información o datos de manera muy clara y presenta la gran ventaja del bajo consumo de potencia. La pantalla seleccionada para este proyecto es el modelo Magelis XBTNU400, de la familia Magelis XBT. Es un panel que ofrece flexibilidad y prestaciones únicas, con una sola herramienta de desarrollo y es de bajo coste, comparado con las demás ofertas en el mercado. Será utilizada en este proyecto para mostrar las alarmas visuales que se presenten durante el monitoreo y es también donde el usuario podrá interactuar con el sistema. (Ver anexos 12 y 13)

4.3.6. Válvulas

Una válvula es un dispositivo que modera el paso de líquido o gases entre dos fracciones de un mecanismo a través de una pieza variable que destapa o aísla en apariencia parcial uno o muchas tuberías. Pueden ser instaladas de distintas maneras:

- Enterradas en el suelo
- A campo abierto
- Enterradas con protección
- En cajas plásticas o metálicas fabricadas para cada válvula
- En cajas plásticas o metálicas prefabricadas

Se ha seleccionado las cajas plásticas o metálicas prefabricadas debido a que se pueden proteger las válvulas de todos los agentes externos y pueden ser manipuladas fácilmente.

Otro factor que se ha tomado en cuenta es donde serán colocadas las válvulas en el sistema de distribución. Pueden ser colocadas en diferentes posiciones:

- Todas en un mismo lugar del invernadero
- Agrupadas por sectores
- Agrupadas en distintas áreas para suministrar agua a diferentes zonas
- En cada zona de suministro de agua

Aunque todos presentan un riego efectivo, se ha preferido el riego en cada zona de suministro de agua debido a que estarían cerca de la zona de consumo, se ahorraría tubería.

Se ha optado por utilizar una electroválvula sencilla. Y de sus dos opciones: normalmente abierta y normalmente cerrada, se ha elegido la normalmente cerrada, debido a que ofrece ventajas como su fácil control y conexión al PLC. Además de que si existe una falla en la alimentación eléctrica, quedan cerradas evitando desperdicios de agua. La electroválvula elegida es DC 12V 1/2" Electric Solenoid Valve For Water Air N/C Normally Closed de la marca Bayite por su precio y porque cumple con las condiciones requeridas. (Ver anexos 14 y 15)

4.3.7. Bombas

Las bombas son dispositivos cuya función radica en incrementar la presión de un líquido al añadirle energía al sistema hidráulico interno, con la intención de mover el fluido a una zona de mayor o menor presión o altitud.

Se utilizarán dos grupos de bombas. Un grupo estará dedicado al riego y la fertilización de la plantación. Mientras que el otro grupo estará dedicado a suministrar el agua que se utilizará para los contenedores de agua (estanques, cisterna, etc.), es decir, las que serían las fuentes a usar para el riego.

Por su bajo precio y su variedad para el manejo de diferentes cantidades de agua y presión, se ha escogido la bomba TRUPER BOAC-2 centrífuga de 2HP eléctrica para agua. Estas bombas estarán a cargo del riego de los campos, llenado de los depósitos de agua, suministro de agua primaria, etc. (Ver anexo 16)

4.3.8. Controladores de presión

Para controlar la presión de la red de distribución se instalarán manómetros, transductores de presión y presostatos. Estos aparatos se utilizan en sistemas por aspersión y en riego por goteo. Están basados en un artefacto en forma de pistón-resorte, el cual regula la presión.

Los manómetros permitirán recoger información del funcionamiento del sistema. Los transductores de presión suministrarán una señal eléctrica proporcional a la presión de entrada. Y por último, el presostato es un interruptor que cambia de posición al sobrepasar el valor regulado de presión máxima y mínima, que se utilizará para detener el sistema en caso de sobrepresión.

El manómetro seleccionado es el manómetro comercial 1005-E-MC-001b por su bajo costo y porque entre sus aplicaciones es usado para indicación o medición de presión en líneas de agua (Ver anexo 17). El transductor de presión a utilizar será el transductor de presión diferencial húmedo/húmedo PX509HL por su alta precisión industrial y porque es capaz de sostener presiones hasta 10,000 psi (Ver anexos 18 y 19). El presostato seleccionado es el presostato modelo fyg-32 10 bar máx. (Ver anexo 20).

4.3.9. Iluminación interior

La iluminación es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas. Los datos que se deben tener en cuenta para la instalación del sistema de luces son:

- Planos acotados de planta y secciones locales
- Detalles constructivos del techo
- Uso al que se destina el local
- Colores y factores de reflexión de suelo, paredes y techos
- Condiciones de humedad, polvo y temperatura.

Tomando todo eso en cuenta, se ha optado por Growlight 30W, de la compañía LUUMS, la cual es una empresa líder en la industria de iluminación de invernaderos. Esta lámpara ofrece:

- Temperatura de funcionamiento -30°C hasta 40°C
- Flujo de luz de 2600 lumen
- Protección IP65 que la protege del polvo y el agua
- Iluminación promedio de 25 lux a un punto de luz de 4 metros
- Área iluminada de más o menos 8 metros a un punto de luz de 4 metros

Estas lámparas ofrecen otras ventajas como el bajo consumo energético por su tecnología LED y pueden ser reguladas, ofreciendo así mantener una intensidad constante dentro del invernadero durante el día. (Ver anexos 21 y 22)

4.3.10. Sensor de CO₂

Para evitar de forma permanente los riesgos para la salud y las plantas, es indispensable disponer un suministro de aire fresco según la demanda precisamente en lugares cerrados. Los sensores de CO₂ miden la concentración de CO₂ en el ambiente.

El mercado de los sensores es amplio y vasto, pero para medir el CO₂ en el Invernadero de la Cruz se ha seleccionado el sensor GMP221 de la empresa VAISALA, empresa que ya había sido utilizada como

referencia en este trabajo. Este sensor cuenta con características que permitirán conocer valores exactos de la cantidad de CO₂ en el invernadero. (Ver anexos 23y 24)

4.4. Requerimientos del cliente

Los requerimientos mínimos fijados por el empleador se dividen en cinco parámetros a controlar los cuales son riego, humedad relativa, temperatura, CO₂ y la iluminación. El riego deberá tener una medición constante para así evitar el desperdicio o mal gasto del agua, abonos, insecticidas y fertilizantes. Además mantener o controlar los niveles óptimos de humedad relativa porque esta es vital en las plantas, puesto que a la carencia de humedad las plantas pasan a una etapa de estrés hídrico y esto disminuye la fotosíntesis. La temperatura deberá ser controlada minuciosamente para así evitar al máximo los daños provocados por el sol, ya que ésta distingue todo el desarrollo vital de una planta.

El CO₂ es el elemento fundamental para que la planta logre efectuar el desarrollo fotosintético sin exceder una concentración de 0.3%, por consiguiente, se deberá vigilar periódicamente para mantenerlo en el nivel adecuado. La iluminación se debe controlar porque es un factor que favorece el crecimiento vegetativo y es una parte importante en el proceso fotosintético.

4.5. Selección del autómata programable

Actualmente existen 3 dispositivos de control que pueden ser utilizados para controlar un sistema:

- Microprocesador
- Autómata programable (PLC)
- Basado en PC

Cada dispositivo presenta características únicas y que deben ser consideradas al momento de ser seleccionar el controlador más conveniente para el proyecto. Algunos de los factores que se tomaron en cuenta para elegir la opción más factible son:

- Costo
- Rendimiento
- Capacidad de entrada y salida
- Modularidad
- Facilidad de instalación
- Facilidad de conexión
- Programación
- Memoria

El mercado ofrece una amplia variedad de PLC, de los cuales la mayoría cumplen con los requerimientos necesarios para controlar el sistema planteado. Entre algunas de las marcas de autómatas programables reconocidas se pueden mencionar:

- Allen Bradley
- Siemens
- LG
- Telemecanique
- Mitsubishi
- Omron
- Modicon

El seleccionado es el Allen Bradley MICROLOGIX 1500 PROCESSOR MODULE 1764-LRP SERIES C porque es más comercial y conocido en el mercado, lo que facilita el mantenimiento y la instalación de accesorios y módulos. Para ver más información acerca de este PLC, ver los anexos 25, 26,

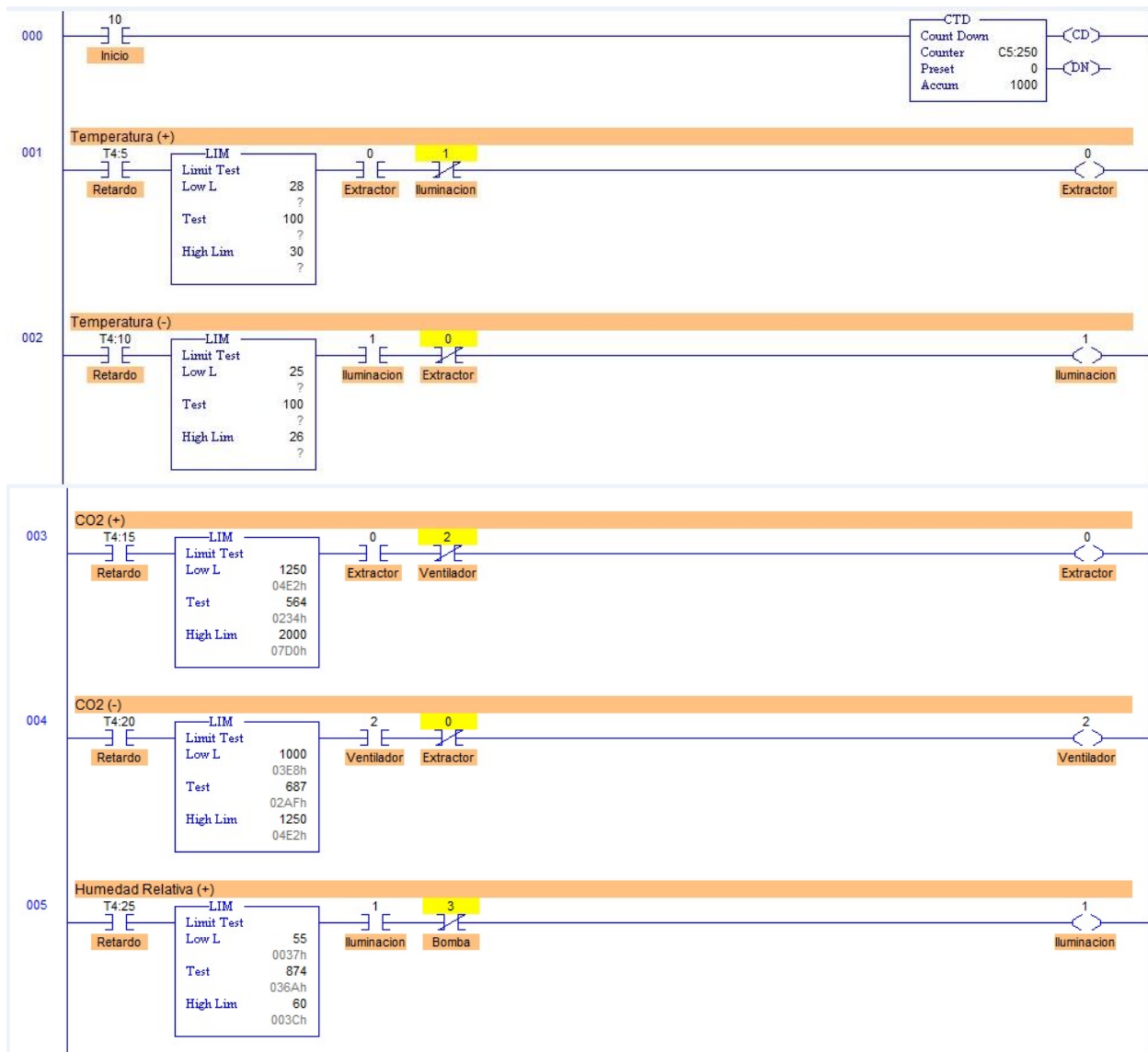
27, 28 y 29 Además, se utilizarán dos módulos de expansión para entradas digitales 1746-iq16 MicroLogix, a los cuales se conectarán todos los sensores que se van a utilizar y servirán en futuras ampliaciones del invernadero para la instalación de nuevos dispositivos. Ver anexo 30

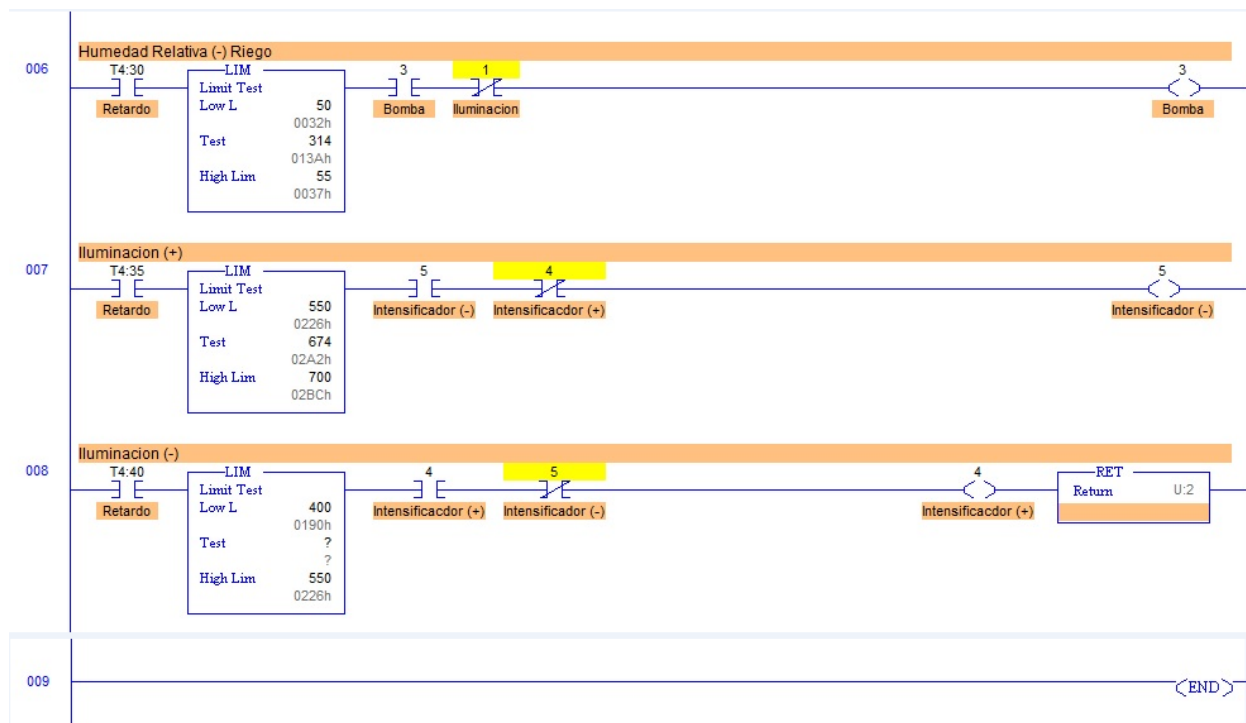
4.6. Programación del PLC

Para el diseño del sistema automatizado de producción para el Invernadero de la Cruz se utilizará el tipo de programación lógica de escalera ya que para fines de mantenimiento y para la misma programación será más sencilla su interpretación. Además, el PLC a utilizar brinda facilidades de programación lógica de escalera, pues ofrece una interfaz de programación gráfica y no de códigos como suele hacerse en otros PLC. Los segmentos a utilizar en la programación son:

1. Inicio del programa.
2. Revisión del funcionamiento correcto de todos los dispositivos del sistema.
3. Monitoreo automático y constante de la temperatura, CO₂, humedad relativa e iluminación.
4. Obtener temperatura detectada por el sensor de temperatura.
5. Obtener el nivel de CO₂ detectado por el sensor.
6. Obtener lectura de la humedad relativa a través del sensor de humedad.
7. Verificar los parámetros para la activación/desactivación de la iluminación.
8. Activar alarma visual en la pantalla LED y enviar pulsos a los actuadores correspondientes si alguna señal recibida está fuera de los parámetros deseados.
9. Desactivar alarmas visuales activas de la pantalla LED si todos los parámetros están dentro de los parámetros deseados.
10. Continuación de monitoreo general verificando y manteniendo la medición de todos los factores dentro de los parámetros establecidos en la programación.
11. Fin del programa.

A continuación se muestra el programa de control manera simplificada:





4.7. Manual del usuario

1. Presentación

Este manual le permitirá aprender a utilizar todas las funcionalidades básicas del PLC MICROLOGIX 1500 y entender los valores mostrados en la pantalla relacionados con el sistema de control del invernadero.

Todos los usuarios del controlador deberán de leer y seguir las instrucciones provistas en este manual, pues el no hacerlo, podría resultar en el mal funcionamiento del sistema. Este manual debe de mantenerse en un lugar de fácil acceso y que sea visible durante se estén realizando cambios en el control del invernadero. Si no entiende alguna parte del manual, comuníquelo a su supervisor o a la compañía de instalación para solicitarle una explicación detallada de la parte confusa.

Es vital que antes de utilizar el sistema de control haya leído y comprendido por completo toda la información presentada en este manual. Asegúrese de que el sistema tenga alimentación eléctrica y se le dé el mantenimiento necesario en el tiempo especificado.

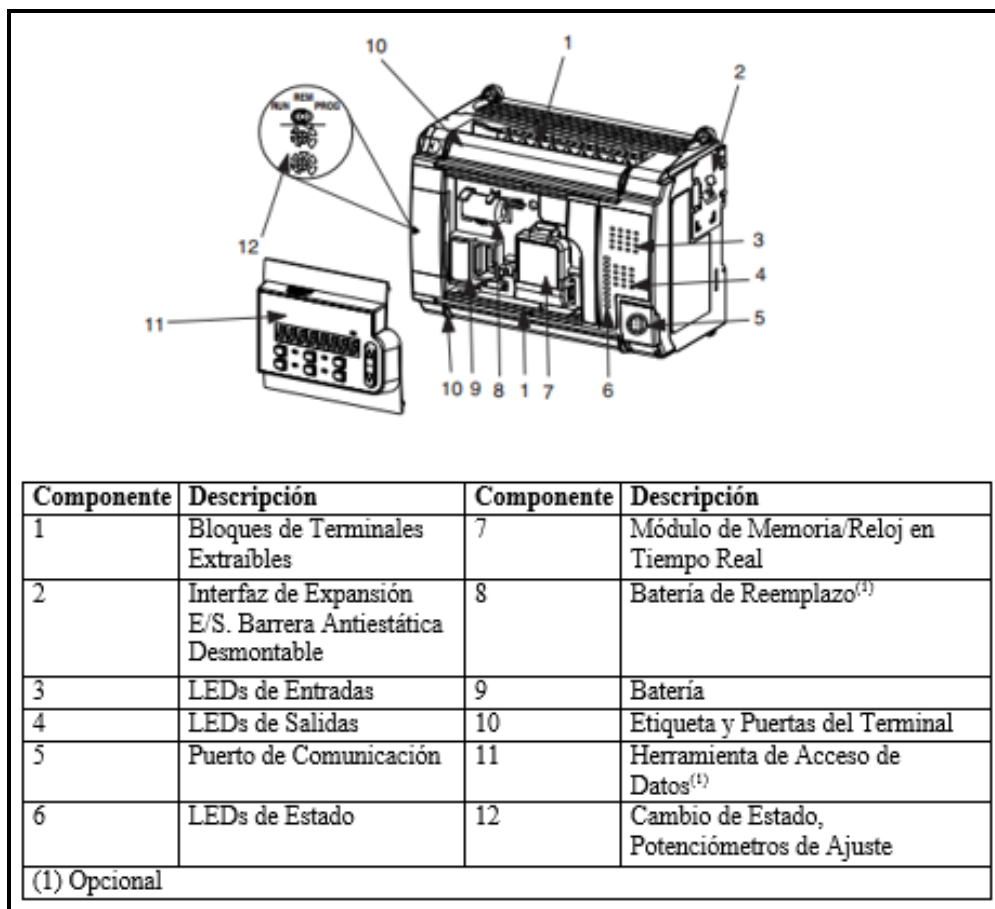
2. Descripción del PLC

El MicroLogix 1500 es una plataforma de control lógico programable que cuenta con un innovador diseño de dos piezas y medidas pequeñas. El procesador y la base se deslizan juntos para formar el controlador completo. Estos se reemplazan independientemente, lo cual permite maximizar las opciones de E/S incorporadas y minimizar los costos de inventario.

El controlador está formado por los siguientes componentes: una fuente de alimentación, circuitos de entrada, circuitos de salida y un procesador, y está pensado para montarse sobre un carril DIN. En nuestro caso se dispone de:

- Unidad base modelo 1764-24BWA: 12 entradas a 24 VCC y 12 salidas de relé.
- Fuente de alimentación a 120/240 VCA
- Procesador modelo 1764-LSP, con 7Kb de capacidad para programa de usuario.

Para programar el controlador se usa el software RSLogix 500 de Rockwell Software.



Hardware del PLC MicroLogix1500

3. Descripción del sistema

El sistema está compuesto por una red de sensores que le envían la información necesaria al controlador para que el mismo analice y tome decisiones. Los actuadores ejecutan las órdenes recibidas del controlador, para así mantener los parámetros establecidos para el invernadero.

El set point o punto de referencia de la temperatura será establecido entre 10 y 25° C, pues según la información recolectada, es la temperatura óptima para la germinación de los pimientos. El controlador o PLC será el delegado de comparar la diferencia de valores obtenidos en la señal de realimentación enviada por un sensor termopar contra la señal establecida en el set point. Luego el controlador realizará

una tarea de control correctiva ya sea activando los extractores de aire, ventiladores, manejar la intensidad de las bombillas o una combinación de estos elementos para mantener los valores establecidos en el set point.

El actuador será accionado en busca de mantener una temperatura consistente según lo establecido por el usuario. Además, bajo ninguna circunstancias debe permitir que la temperatura caiga por debajo de los 0° Celsius, ni que suba por encima de los 40° Celsius, ya que son las temperaturas mínima y máxima respectivamente que pueden soportar las plantas antes de fallecer.

Así mismo el PLC seleccionado, Allen Bradley MICROLOGIX 1500 PROCESSOR MODULE 1764-LRP SERIES C, se encargará de que la humedad relativa se mantenga entre un 50 y un 60 %. Para esto, el sistema debe tomar en cuenta la humedad existente en el aire y la humedad de la tierra provista por los sensores de temperatura y de humedad que estarán distribuidos por todo el invernadero. Luego de coleccionar la información de los sensores, el controlador enviará una señal para encender las bombas y otra señal para abrir las válvulas. Posteriormente enviará otros impulsos para detener el riego, por considerar que ya se ha dispensado la cantidad de agua suficiente para alcanzar el valor óptimo establecido.

En cuanto a la iluminación se refiere, el controlador regulará la intensidad de las lámparas utilizadas, para lograr una intensidad constante e incentivar un proceso fotosintético adecuado. Para lograr esto, el controlador utilizará la información proporcionada por sensores fotoeléctricos que estarán localizados por todo el invernadero.

Similar a la temperatura, el control del CO₂ utilizará los ventiladores y extractores para mantener los valores de CO₂ dentro de los 1,000 a 2,000 ppm. Dichos valores serán obtenidos a través de un sensor de CO₂.

Para completar el sistema de control hay que mencionar el sistema de riego, el cual va de la mano con la humedad en el ambiente. El sistema de riego también se velará por proveer la cantidad de nutrientes y el fertilizante necesario en cada etapa de su crecimiento, evitando la sobre nutrición o falta de nutrición para que las plantas produzcan en abundancia y el proceso fotosintético sea más efectivo.

4. Procedimientos

Ingresar al programa

Para ingresar al programa solo es necesario encender el equipo y en condiciones normales este entrara de manera directa presentando en la ventana principal la fecha y la hora.



Luego de esto, en la pantalla se mostrara la lectura de las variables ambientales.



En caso de que intente encender el sistema y no encienda, revise que el sistema tenga alimentacion electrica y que todos los cables esten conectados firmemente en su lugar.

Control Automático o Manual

El control de los dispositivos de salida puede ser manual o automático y se puede escoger el modo en el Modo-Control-Automático/Manual. El sistema siempre iniciara en modo automático (recomendado).

En el sistema automático, el controlador determina los valores de salida para controlar los actuadores del sistema atendiendo a los valores máximos y mínimos establecidos a cada uno de los factores ambientales. Por otro lado, el sistema manual solo va a presentar la lectura de los factores en la pantalla, pero no realizara ninguna acción de control, por lo cual el usuario será el encargado de accionar los equipos manualmente por el tiempo que el considere necesario.

Estado del PLC

Es posible que en la pantalla aparezcan dos mensajes: Conectado o Desconectado. El mensaje de conectado indica que el sistema está funcionando correctamente y su conexión con la pantalla y los dispositivos es exitosa. Mientras que el estado desconectado indica que se ha perdido la comunicación entre el controlador y la pantalla, el sistema se mantendrá presentando la última lectura de datos que haya hecho.

La conexión entre los sistemas se realizan de manera automática al encender el sistema, pero existe la posibilidad de que el usuario interrumpa la conexión a través de Modo-Desconectar, lo cual limitara el sistema tan solo a recolectar información de los sensores, pero no se mostrara dicha información en la pantalla, hasta que esté conectado nueva vez.

Para reestablecer la conexión vuelva a presionar Modo y luego Conectar, de esta manera podrá visualizar los valores de los factores ambientales en tiempo real.

Establecer Valores Máximos y Mínimos para las Variables

El controlador le permite al usuario ingresar los valores máximos y mínimos para los factores ambientales, según la época del año o el estado de germinación de las plantas.

Para ingresar los valores dentro de los parámetros permitidos solo hay que seguir la siguiente secuencia de pasos: Modo-Config. De Variables-Temperatura/CO₂/Humedad Relativa/Luminosidad según sea el caso. Como ya se habían definido en la descripción del sistema, los valores deben estar dentro del rango establecido y el sistema no le permitirá ingresar valores por encima o por debajo de los mismos.

Nota: En caso de que requiera cambiar los valores establecidos como límites máximo y mínimo de cada factor, contacte a su proveedor de servicios.

Seguridad del controlador

Para acceder y modificar las variables críticas de cada factor ambiental, se recomienda que sea solo personal autorizado y para lograr esto el sistema provee la opción de establecer contraseñas para las partes más sensibles e importantes del sistema.

Para agregar contraseña a algún campo o cambiar una existente, tan solo vaya al Modo, luego contraseñas-Establecer nueva contraseña o Cambiar contraseña- Seleccione que submenú y escriba su contraseña- Enter- Le aparecerá un mensaje de si está seguro que quiere proseguir, si es así, presione Enter para su confirmación.

Obtención de datos

Es posible imprimir datos, tablas e inclusive graficas de los valores que se han obtenido de cada factor observado durante un tiempo específico. En estas tablas es posible apreciar los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos durante cierta fecha, además del tiempo de funcionamiento de cada actuador. Esto último ayudara a la hora de dar mantenimiento a los equipos.

Para acceder a esta función se presiona el botón Modo-Consultar- Seleccione el factor que desea-El rango de tiempo-Enter. Debe asegurarse que el controlador tenga una interfaz de impresión compatible conectada al mismo, en caso de que no, la pantalla le presentara que no se ha encontrado el dispositivo de impresión.

5. Ayuda y contactos

Si existe información que no se explica en este manual o que no comprende acerca del controlador, comuníquese con el fabricante.

INGELAP

Teléfono: (809) 566 3210

Fax: 809-683-3210

Correo Electrónico: info@ingelap.net

Dirección: Clara Celia Pardo (Antigua F), 49-A, Urb. San Gerónimo, Santo Domingo, República Dominicana.

DB INDUSTRIAL SUPPORT

Teléfono: 809-906-5307

Dirección: Av. D. Manzana 4702 Edif. 8 Apto. 2a. Invivienda. Santo Domingo, República Dominicana.

ALLEN BRADLEY/ROCKWELL AUTOMATION

Teléfono: 1-800-422-4913

Dirección: 2 Executive Dr, Chelmsford, MA 01824, Estados Unidos

4.8. Relación de costos

Descripción	Cantidad	Unidad	Total
Allen Bradley Micrologix 1500 Processor Module 1764-LRP Series C	1	\$250.00	\$250.00
1746-iq16 Micrologix Modulo Expansion De Entradas Digitales	2	\$114.00	\$228.00
K Type Thermocouple Temperature Control 0-400C Sensor 5cm Probe 2M 6.6Ft Long	10	\$5.00	\$50.00
Sensor de Humedad MAS-1 4-20 Sensor Decagon	8	\$103.00	\$824.00
LCD XBTNU400 magelis schneider square D	1	\$182.73	\$182.73
Bomba TRUPER BOAC-2 centrifuga de 2HP	1	\$263.26	\$263.26
Presostato SQD FYG-32(P.MAX.10BAR)	1	\$22.84	\$22.84
Growlight 30W Luums	8	\$47.94	\$383.52
Vaisala Carbon Dioxide Probe GMP221 0...2% CO2	2	\$150.00	\$300.00
0~30psi 0~2bar Pressure Gauge Manometer for Water Air Oil Dial Instrument 7D3F	1	\$3.00	\$3.00
Transductor de presión Diferencial húmedo/húmedo de alta precision industrial	1	\$894.47	\$894.47
Ventilador 2102 series JM Plate - Plate Axial Fans Flaktwoods	2	\$50.00	\$100.00
Extractor Axial HXB-T 400 Soler y Palau Gama	2	\$247.61	\$495.22
DC 12V 1/2" New Electric Solenoid Valve For Water Air N/C Normally Closed	10	\$4.49	\$44.90
Total	50		\$4,041.94

Tabla 8. Relación de costos de la propuesta

Fuente: Los autores

5. CONCLUSIÓN

Mediante la investigación de automatización de los invernaderos se obtuvo la información necesaria para presentar la automatización del Invernadero de la Cruz, Cotuí, provincia Sánchez Ramírez. En ese sentido se evidenciaron los siguientes aspectos:

- Se evaluó el estado actual de los sistemas del invernadero, se analizaron los sistemas existentes en el Invernadero de la Cruz y se encontró un mal uso de los recursos en los diferentes procesos de cultivo.
- Se identificaron las variables críticas: riego, humedad relativa, temperatura, CO₂ e iluminación del invernadero.
- Se Diseñó el sistema de automatización de producción para el Invernadero de la Cruz, el cual controla o mitiga las deficiencias de los recursos que posee el Invernadero de la cruz
- Se creó el manual de usuario para el sistema de automatización diseñado.

El sistema autómatas tiene las opciones de modelar o ajustar los parámetros de riego, humedad relativa, temperatura, CO₂ y la iluminación como se desee a través de teclado y pantalla LCD; Además configuran los actuadores del sistema para que funcionen dependiendo del lugar en que este ubicado. El diseño concebido se realizó con dispositivos y hardware comerciales, de este modo todos los invernaderos con las mismas problemáticas de automatización pueden implementar este sistema diseñado.

6. RECOMENDACIONES

El diseño de un sistema automatizado de producción para el Invernadero de la Cruz propone las siguientes acciones para mejorar la instalación y sus actividades productivas:

- Implementación del Diseño del Sistema Automatizado de Producción para el Invernadero de la Cruz, Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez.
- Capacitar los empleados en temas de automatización y la utilización del sistema a través del nuevo manual creado en este trabajo.
- Utilizar sistemas de energía alternativas aprovechando el espacio y la zona despejada en la que se encuentra el invernadero para reducir, los gastos eléctricos de la instalación.
- Cambiar el recubrimiento del invernadero de mallas anti-insectos a poliéster.
- Definir políticas institucionales y de calidad que permitan a los empleados saber exactamente qué se espera de ellos y de los productos que cultivan.
- Establecer la visión, misión y valores del invernadero para fomentar el sentido de pertenencia de los empleados y crear una cultura organizacional respetada por todos.
- El área de esterilización de las manos debería ser más limpia y organizada. (Ver anexos 31 y 32)
- Separar el cuarto donde se mezclan los nutrientes y fertilizante de las herramientas, desperdicios y otros equipos. (Ver anexos 33, 34 y 35)

Referencias

- Agromática, Jose. (6 de Junio de 2012). *Agromática*. Recuperado de <http://www.agromatica.es/riego-del-pimiento/>
- Camila, L. (Julio de 2006). Recuperado de EMB: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=515&edi=9>
- Carrillo, D. A., & Vazquez, J. l. (21 de Noviembre de 2008). Automatizacion de un invernadero con PLC S7-200. *Tesis*. Zacatecas, Mexico.
- Castellanos, I. C. (30 de Abril de 2012). *Agronomia para todos*. Recuperado de <http://www.agronomiaparatodos.org/2012/04/sistemas-de-riego.html>
- Castilla Prados, N. (2007). *Invernaderos de Plástico* (Segunda ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa Libros.
- Climate-Data. (9 de Agosto de 2015). *Climate Data*. Recuperado de <http://es.climate-data.org/location/25810/>
- Editorial, E. (16 de Julio de 2015). *Plataforma Arquitectura*. Recuperado de <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/770163/geotermia-ventilacion-natural-y-fachadas-microperforadas-invernadero-sostenible-para-la-universidad-de-murcia>
- Eguino, R. R. (30 de Enero de 2012). Recuperado de <http://invernaderosagricultura.blogspot.com/2012/01/definicion-de-invernadero.html>
- García Jalmes, L. E., & Arroyave Giraldo, M. (Abril de 2005). *Academia* . Recuperado de http://www.academia.edu/7780862/CONTROL_DEL_MICROCLIMA_DE_UN_INVERNADERO_UTILIZANDO_T%C3%89CNICAS_DE_CONTROL_PREDICTIVO

- GARRIDO, D. A. (2011). LA IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN . DISTRITO FEDERAL, MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Giraldo Echeverri, S. (26 de Marzo de 2011). *Invernaderos y Jardines*. Recuperado de <http://www.invernaderosyjardines.com/component/k2/item/15-iluminacioninvernaderos.html>
- Groover, M. P. (2007). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (3rd Edition)* .
- Huelva, U. d. (2010). Recuperado de http://www.uhu.es/diego.lopez/AI/auto_trans-tema1.pdf
- Infoagro Systems, S.L. (2007). *InfoAgro*. Recuperado de <http://www.infoagro.com/>
- Invernaderos Fertri S.L. (Marzo de 2012). *Invernaderos Fertri S.L.* Recuperado de <http://www.fertri.com/galerias/>
- Isbel. (16 de Agosto de 2011). Recuperado de <http://isbelg.over-blog.com/article-definicion-sencilla-automatizacion-electrica-efectos-86799569.html>
- Jaime Andrés, M. S. (2012). *AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADERO EN CLIMA TEMPLADO*. Cali.
- Jaimez, R. E., Martinez, P. J., & Da Silva, R. (2007). *Microclima en Invernaderos: sus efectos sobre intercambio de*. Merida: SABER ULA.
- Lira-Saldivar, R. H., Hernández-Suárez, M., & Corrales-Flores, J. (2014). *Nanotecnología en agricultura sustentable*. Saltillo: Centro de Investigación en Química Aplicada.
- López Hernández, J. C., & Pérez-Parra, J. (2006). *EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE INVERNADERO* . *Publicaciones Cajamar*.
- López Martinez, A. (2011). *Contribución al conocimiento del microclima de los invernaderos mediterráneos mediante anemometría sónica y termografía*. Almería: Universidad Almería.

- López Molina, Y. (26 de Junio de 2005). Control climático en invernaderos. *Horticultura*. Recuperado de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/77307-Control-climatico-en-invernaderos.html>
- Lugo, J. G., Ybarra, J. J., & A, E. R. (01 de Octubre de 2012). *Itson*. Recuperado de http://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/v1_art4.pdf
- Madge, E. (2009). *Invernadero inteligente para clima calido*.
- Meraz, M. G. (Diciembre de 2013). *IIGarciaMerazManuel*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/iigarciamerazmanuel/3-marco-teorico/4-1-definicion-en-que-consiste-objetivos-y-beneficios>
- New World Encyclopedia. (16 de Enero de 2014). *New World Encyclopedia*. Recuperado de <http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Greenhouse>
- Noe, I. L. (2012). *Automatización de invernaderos aplicando tecnología de punta, con fines de mejorar la produccion agricola a un bajo costo*.
- Olguin, S. (2011). *Innatia*. Recuperado de <http://www.innatia.com/s/c-huerta-organica/a-que-es-un-invernadero.html>
- Pérez-Parra, J., C. López, J., & Dolores Fernández, M. (2002). La agricultura del Sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense. *Mediterraneo Económico*.
- Pujante García, F. (30 de Septiembre de 2011). *Interempresas*. Recuperado de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/56217-El-control-climatico-en-invernaderos.html>
- Rangel, L. E., Pineda, W., & Ruiz, D. A. (2008). *SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA INVERNADEROS*. Colombia.

- Rollano, A. (2014). *Calameo*. Recuperado de <http://en.calameo.com/books/00377048013b340cbc234>
- Sarmiento, H. O., & Solano, O. F. (2006). *DISEÑO Y SIMULACION DEL CONTROL CLIMATICO PARA UN INVERNADERO Y BASE DE DATOS DE REGISTRO*. Bogota D.C.
- Serrano Cermeño, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Madrid: Mundi Prensa Libros.
- VAISALA. (2013). *VAISALA*. Vataa: VAISALA. Recuperado de <http://es.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-BAU-Greenhouse-Climate-Application-Note-B211142ES-A.pdf>
- White Cottage Leisure Buildings Ltd. (2011). *WHITE COTTAGE* . Recuperado de <http://www.whitecottage.co.uk/history-of-greenhouses.htm>

Anexos



Anexo 1. Vista Frontal del Invernadero de la Cruz



Anexo 2. Rollos de mangueras a los lados del invernadero



Anexo 3. Tuberías desde la bomba al invernadero



Anexo 4. Tanque para mezcla de nutrientes



Anexo 5. Bomba de gasoil y su contaminación en su alrededor



Description

Shipping & Payment

Return

Other Term & Attention

Specifications:

Product Name	Thermocouple
Type	K Type
Temperature Range	0-400°C(32-752°F)
Probe Diameter	4mm / 0.15"
Probe Length	50mm / 1.9" (Not Included Flexible Section)
Thread Diameter	7mm / 0.27"
Internal Insulation	Fibreglass
External Shielding	Metal Shield
Total Length	2M / 78.7"
Fork Terminal Spacing	3.5mm / 0.13"
Color	As Picture Shown
Weight	37g
Package Content	1 x Type K Thermocouple

Anexo 6. Sensor de Temperatura Termocupla 2M




2102 Series - Plate Axial Fans



Features

- 315 - 710 mm diameter
- Volume up to 12,600 m³/h (3.5 m³/s)
- Static pressures up to 300 Pa
- Motor protection IP55
- Overheat protection fitted as standard on single phase fans
- Speed controllable
- Supplied fully assembled
- Full range of accessories

Electrical Supply

- 220-240V/50Hz/1 ϕ
- 380-420V/50Hz/3 ϕ

Temperature Range

- 40°C to 50°C as standard
- 50°C to 70°C must be run at full speed only.

Anexo 7. Ventilador 2102 series JM Plate - Plate Axial Fans de la familia Flaktwoods



Gama de ventiladores helicoidales en 3 diámetros normalizados, diseñados en aplicación directa para mover volúmenes de aire considerables, destacando su alto rendimiento y bajo consumo de energía.

Fabricados en base a un diseño robusto y con materiales de la más alta calidad, garantizando larga vida de operación.

Características Principales

Marco embocadura conformado por embutición, acabado con pintura en polvo poliéster homeada de alta resistencia a la corrosión, hélices con alineación y balanceo preciso, motores en algunos modelos disponibles monofásicos y trifásicos

Aplicaciones

Ventilación comercial: bodegas, tiendas, almacenes, locales comerciales, locales deportivos, etc.

Ventilación industrial: naves, talleres, fábricas, refrigeración de máquinas, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad	Potencia	Caudal descarga libre m³/hr	Intensidad máxima (A)			Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
	R.P.M.	H.P.		440V	220V	127V		
HXB-400/L*	1625	1/8	3190	-	-	1.7	60	14
HXB-400/H*	1725	1/3	5450	-	-	2.9	64	15
HXT-400/H	1725	1/4	5450	-	2	-	64	15
HXB-500/L	1725	1/2	7630	-	-	5.7	68	19
HXT-500/L	1725	1/2	7630	1	2	-	68	19
HXB-500/H	1725	1/2	10180	-	-	5.7	71	18
HXT-500/H	1725	1/2	10180	1	2	-	71	18
HXT-630/L	1725	1	13500	1.9	3.8	-	77	29
HXT-630/H	1725	1 1/2	15930	2.2	4.4	-	78	29
HXT/6-630/L	1150	1/2	9180	1.5	3.2	-	70	30
HXT/6-630/H	1150	3/4	12590	2.1	4.2	-	73	35

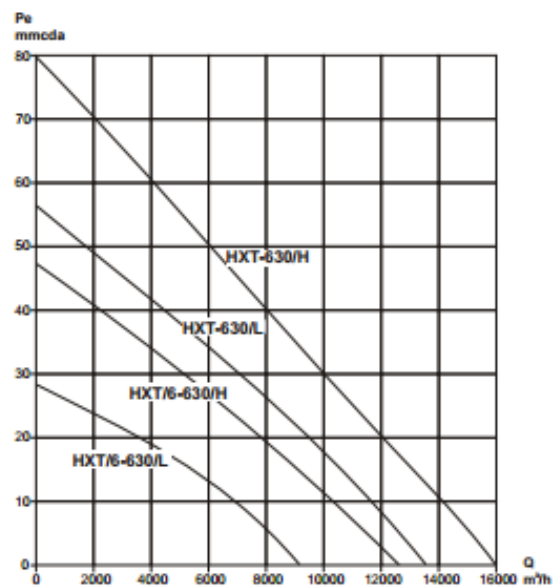
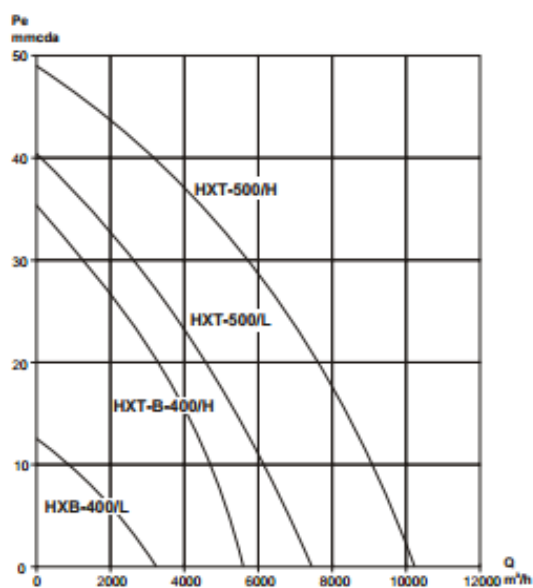
*Nivel sonoro medido de acuerdo a norma 300/96 AMCA y 301/96.

* L: Hélices con ángulo de menor ataque.

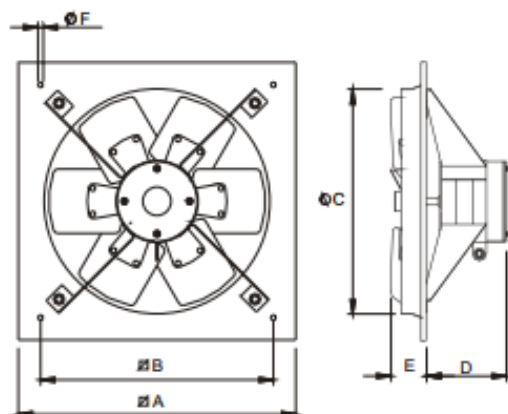
* H: Hélices con ángulo de mayor ataque.

Anexo 8. Descripción del extractor Axial HXB-T 400/L de Soler y Palau Gama

CURVAS CARACTERISTICAS

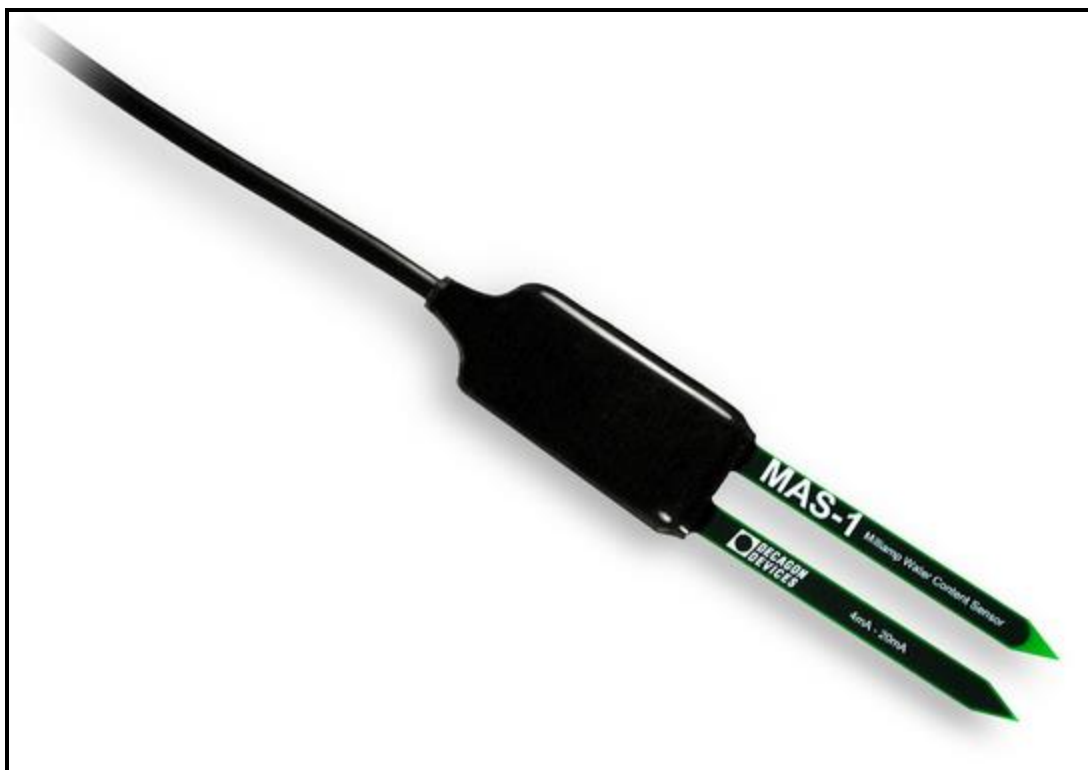


DIMENSIONES



DIMENSIONES mm						
Modelo	A	B	C	D	E	F
HXT-B 400/L	497	417	400	150	65	9.5
HXT-B 400/H	497	417	400	150	65	9.5
HXT-B 500/L	627	555	500	180	75	9.5
HXT-B 500/H	627	555	500	180	75	9.5
HXT-B 630/L	807	635	630	310	90	17.8

Anexo 9. Otras informaciones acerca del Axial HXB-T 400/L de Soler y Palau Gama



Anexo 10. Sensor de humedad MAS-1

ELECTRICAL	
INTERFACE	Standard 4-20 mA analog transmitter
SUPPLY VOLTAGE	12-32 VDC continuous
OUTPUT CURRENT	4 - 20 mA
OVERVOLTAGE PROTECTION	Yes
SETTLING TIME	4 seconds
WIRING	Red Wire: (+) supply Black Wire: (-) output Shield: not connected
MEASUREMENT	
TYPE	Volumetric water content (VWC)
RANGE	0-100% VWC typical
RESOLUTION	Depends on current measurement (data acquisition) device
ACCURACY	±6% VWC with generic calibration for supported growing media up to 65% VWC, above which accuracy lessens. Increased accuracy can be achieved with a medium-specific calibration.
OUTPUT	4-20 mA current proportional to VWC
SENSOR MEASUREMENT INTERVAL	1 second
OPERATING ENVIRONMENT TEMPERATURE	-40 to 60°C* *Sensors can be used at higher temperatures under some conditions. Contact Decagon for more details.
PHYSICAL PROPERTIES DIMENSIONS	8.9 cm x 1.8 cm x 0.7 cm
CABLE	2 m or 5 m, 3 wire (22 AWG tinned Red and Black wire, 24 AWG tinned bare wire); custom cable length available upon request.

Anexo 11. Ficha técnica del sensor de humedad MAS-1



Main

Commercial Status	Commercialised
Range of product	Magelis XBTN
Product or component type	Small panel with touchscreen and keypad
Display resolution	122 x 32 pixels
Software type	Configuration software
Software designation	Vijeo Designer Lite
Operating system	Magelis

Complementary

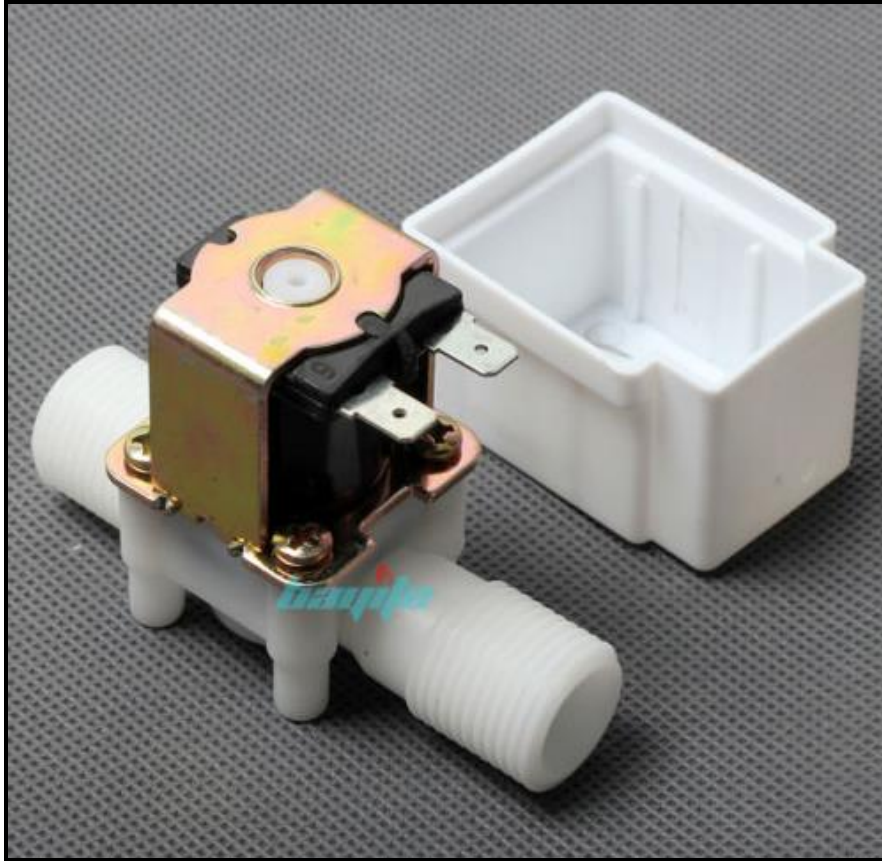
Display type	Extra-bright matrix backlit LCD
Display colour	Green
Character font	ASCII Chinese (simplified Chinese) Cyrillic Greek Katakana

[Us] rated supply voltage	24 V DC
Supply	External source
Supply voltage limits	18...30 V
Residual ripple	1200 mV
Power consumption	<= 5 W
Number of key	8
Number of fixed keys	4
Number of customisable keys	4
Number of pages	200 application pages 256 alarm pages
Memory type	Flash
Memory capacity	512 kB
Integrated connection type	Serial link: female SUB-D 25, asynchronous transmission mode (RS232C/RS485), multidrop topology Power supply: removable screw terminal block
Realtime clock	Access to the PLC real-time clock
Product mounting	Flush mounting
Fixing mode	By 2 spring clips
Display material	Polyester
Front material	PPT
Keypad material	Polyester
Marking	CE
Width	5.2 in (132 mm)
Height	2.91 in (74 mm)
Depth	1.69 in (43 mm)
Cut-out dimensions	119.4 (+/- 0.5) x 63 (+/- 0.4) mm

Anexo 12. Descripción de la pantalla LCD Magelis XBTNU400

Environment	
Messages display capacity	1 line of 5 characters minimum 4 lines of 20 characters maximum
Downloadable protocols	Modbus
Standards	IEC 60068-2-27 IEC 60068-2-6 IEC 61131-2 UL 508 CSA C22.2 No 14
Product certifications	ATEX zone 2/22 CSA Class 1 Division 2 UL Class 1 Division 2 UL 1604
Ambient air temperature for operation	32...131 °F (0...55 °C)
Ambient air temperature for storage	-4...140 °F (-20...60 °C)
Relative humidity	0...85 % without condensation
IP degree of protection	IP65 (front panel) conforming to IEC 60529 IP20 (rear panel) conforming to IEC 60529
NEMA degree of protection	NEMA 4X front panel (outdoor use)
Shock resistance	15 gn for 11 ms
Ordering and shipping details	
Category	22398 - TESYS U - MULTI-FCTN CTRL MOD(LUCM)
Discount Schedule	I11
GTIN	00785901412823
Nbr. of units in pkg.	1
Package weight(Lbs)	0.80
Product availability	Non-Stock - Not normally stocked in distribution facility
Returnability	N
Country of origin	ID
Contractual warranty	
Period	18 months

Anexo 13. Otras características de la pantalla LCD Magelis XBTNU400



Anexo 14. Electroválvula N/C Bayite

Specifications:

- Voltage: DC 12V
- Current: 300mA
- Flow bore: 14mm
- Pipe size: 1/2"
- **Working Pressure: 0.02~0.8Mpa**
- Operating temperature: 1°C - 75°C
- Type: Normal closed
- Ports: 1/2" Inlet and Outlet Ports
- Inlet and Outlet Ports Material: Plastic
- Copper Coil
- Usage: water, air and low viscosity fluids(It cannot be used for inflammable gas or fluids)

Anexo 15. Especificaciones de la Electroválvula N/C Bayite

Centrífuga 2 HP

Impulsor de latón
Recomendada para uso doméstico

Motor con
bobinas de cobre

NOM

CCAT - GARANTÍA
1
AÑO

ESPECIFICACIONES

Potencia: **2 HP**

Tensión / Frecuencia: **120 V / 60 Hz**

Velocidad: **3,450 rpm**

Flujo máximo: **190 L/min**

Altura máxima: **42 m**

Máxima profundidad: **8 m**

Ø Entrada: **1 1/2"**

Ø Salida: **1 NPT**

Ciclo de trabajo: **50 min. de trabajo
x 20 min. descanso**

Máximo diario: **6 horas**

Dimensiones: **B 21 x A 26 x F 37 cm**

Peso: **19.6 kg**



Carcasa laminada para
mejor disipación de calor



Anexo 16. Bomba Truper BOAC-2

Caja:

Caja en acero al carbono pintada de negro.
Opcionalmente a prueba de vibración a través de nuestro sistema *FlutterGuard™*, opcional XSF.
Diámetros nominales de 40mm (1 ½"), 50mm (2"), 66mm (2 ½") o 100mm (3 ½"). Grado de protección IP 22.

Cuadrante:

Aluminio, fondo blanco e impresión en negro.

Aguja:

Aluminio, negra. Opcionalmente aguja ajustable (opcional XAP) o con ajuste de máxima y mínima (opcional XEP).

Indicación de máxima y mínima presión:

A través de aguja de máxima o mínima ajustable (opcional XEP).

Visor:

Polycarbonato tipo "push-in".

Sistema sensor:

Tubo Bourdon en bronce y zócalo en latón.

Mecanismo:

Patentado *PowerFlex™* confiere desempeño superior contra choques, vibración y pulsación.

Ajuste de escala:

A través de tornillo de ajuste en el cuadrante.

Ajuste de cero:

A través de aguja opcional ajustable (opcional XAP).

Montaje:

Local.

Conexión:

En el diámetro 40mm, conexión inferior o trasera concéntrica con roscas de 1/8" NPT o BSP. En los demás diámetros, conexión inferior o trasera concéntrica, roscas 1/8" o 1/4" NPT o BSP.

Rangos de presión:

Desde vacío hasta 400 kgf/cm² y compuestas para los diámetros desde 50 hasta 100mm y desde vacío hasta 70 kgf/cm² en el diámetro de 40mm. Con tornillo restrictor de 0,013" para rangos de 70 kgf/cm² o superiores. (Ver folleto de "Selección de Escalas - E-MC 003").

Temperatura de operación:

De -40°C hasta 65°C (-40°F hasta 150°F).

Límites de sobrepresión:

1,15 X el fondo de escala, sin afectar la calibración.

**Aplicaciones**

Medición de presión o indicación de máxima o mínimas presiones en líneas de aire, agua, aceite y gases no corrosivos. Equipos industriales. Debe usarse protegido contra intemperie, en fluidos tales como agua, aceite y gases no corrosivos.

Accesorios**Sello de diafragma:**

Aísla el sensor de presión de eventuales efectos provocados por corrosión, partículas sólidas, cristalización, alta viscosidad, congelamiento y otros.

Amortiguador de pulsación y manifolds:

Para línea de presión pulsante. Estabiliza la aguja y evita el desgaste del mecanismo.

Protector de sobrepresión:

Para línea de presión pulsante. Estabiliza la aguja y evita el desgaste del mecanismo.

Extensión capilar:

Protege el sensor evitando la exposición del manómetro a altas temperaturas y congelamiento. También se usa acoplada a sello de diafragma remoto.

Válvula aguja y manifolds:

Para bloqueo y liberación de la presión para toma de lectura o como amortiguador de pulsación de regulación externa.

Tubo sifón:

Produce la caída de la temperatura del fluido en aplicaciones de medición de vapor y de otros fluidos con alta temperatura.

Anexo 17. Características del Manómetro 1005-E-MC-001b



Anexo 18. Transductor de alta precisión PX509HL

SPECIFICATIONS

Calibration: 5-point NIST traceable calibration with zero and span values

Accuracy: $\pm 0.08\%$ best straight line (linearity, hysteresis and repeatability combined) calibrated in vertical direction with fitting down; compound gage models calibrated in positive direction only

Setting Accuracy for Conduits

Without Trim Pots:

Zero: $\pm 0.5\%$ full scale typical
 $\pm 1\%$ maximum (for ranges ≤ 2.5 psi)
 $\pm 1\%$ typical $\pm 2\%$ maximum)

Span: $\pm 0.5\%$ full scale typical
 $\pm 1\%$ maximum (for ranges ≤ 2.5 psi mb)
 $\pm 1\%$ typical $\pm 2\%$ maximum)

Operating Temperature Range:

-40 to 85°C (-40 to 185°F)

Compensated Temperature Range:

Ranges ≤ 5 psi: -17 to 85°C (0 to 185°F)
Ranges > 5 psi: -29 to 85°C (-20 to 185°F)

Temperature Compensation: Zero and Span Effects Over Compensated Range

Range ≤ 5 psi:

Zero: 1%
Span: 1%

Ranges > 5 psi:

Zero: 0.50%
Span: 0.50%

Compensated Line Pressure Range: 0 to 2000 psi

Line Pressure Compensation: Zero and Span Effects

Zero: 0.3% full scale/1000 psi
Span: 0.3% full scale/1000 psi

Minimum Isolation between Case and Output Terminations: 100M Ω @ 50 Vdc

Pressure Cycles: 1 million, minimum

Long Term Stability (1-Year): $\pm 0.1\%$ full scale typical

Shock: 50 g, 11 ms half sine vertical and horizontal axis

Vibration: 5-2000-5 Hz, 30 minute cycle, Curve L, Mil spec 810 figure 514-2-2, vertical and horizontal axis

Bandwidth: DC to 1 kHz typical

Response Time: < 10 ms

CE Compliant: Meets industrial emissions and immunity standard EN61326-1, EN61326-2-3 industrial level 2

Amplified Voltage Output

0 to 5 ± 5 Vdc: 10 to 32 Vdc, 10 mA
0 to 10 ± 5 Vdc: 16 to 32 Vdc, 10 mA
 4 to 20/4-12-20 mA Output

Output: 4 to 20 mAdc

Supply: 16 to 32 Vdc maximum loop resistance Ohms = $(V_s - 10) \times 50$

Environmental Protection: IP65 or IP67 depending upon electrical termination

Safe Overpressure: 5000 psi

Burst Pressure: 10,000 psi

Pressure Connection: $\frac{1}{4}$ NPT female

Wetted Parts: 316L SS

Weight: 285 g (10 oz) typical

Anexo 19. Especificaciones del Transductor PX509HL



**PRESOSTATO MODELO FYG-32 10
BAR MÁX.**

Descripción

El presostato también es conocido como interruptor de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

- Voltaje: 220V
- Rango de presión: 5,6 a 10 bar

Anexo 20. Descripción del presostato FYG-3210



Anexo 21. Lámpara Growlight 30W

Fuente de luz 30 x 1W High Power LED	Voltaje de entrada 100 - 240VAC @ 50/60Hz
Color 2700K, 3200K, 6500K	Temperatura de funcionamiento -30°C hasta 40°C
Ángulo de iluminación X=120° y Y=60°	Dimensiones 390 x 200 x 50mm
Flujo de luz 2600 Lumen	Protección IP65
Área iluminada ±8 metros (punto de luz a 4 m)	Conformidad EN60598-2-3:2003 se utiliza conjuntamente con EN60598-1:2004
Iluminación promedio 25 Lux (punto de luz a 4 m)	Parte 2 Requisitos particulares. Sección tres: Requisitos de prueba de luminarias de acuerdo a la reglamentación European 2006/95/EC
Intensidad de luz máxima 1800 Candela	
Brillo de LED >70% 50.000 Horas	Garantía técnica 5 Años

Anexo 22. Especificaciones de las Bombillas Growlight 30W



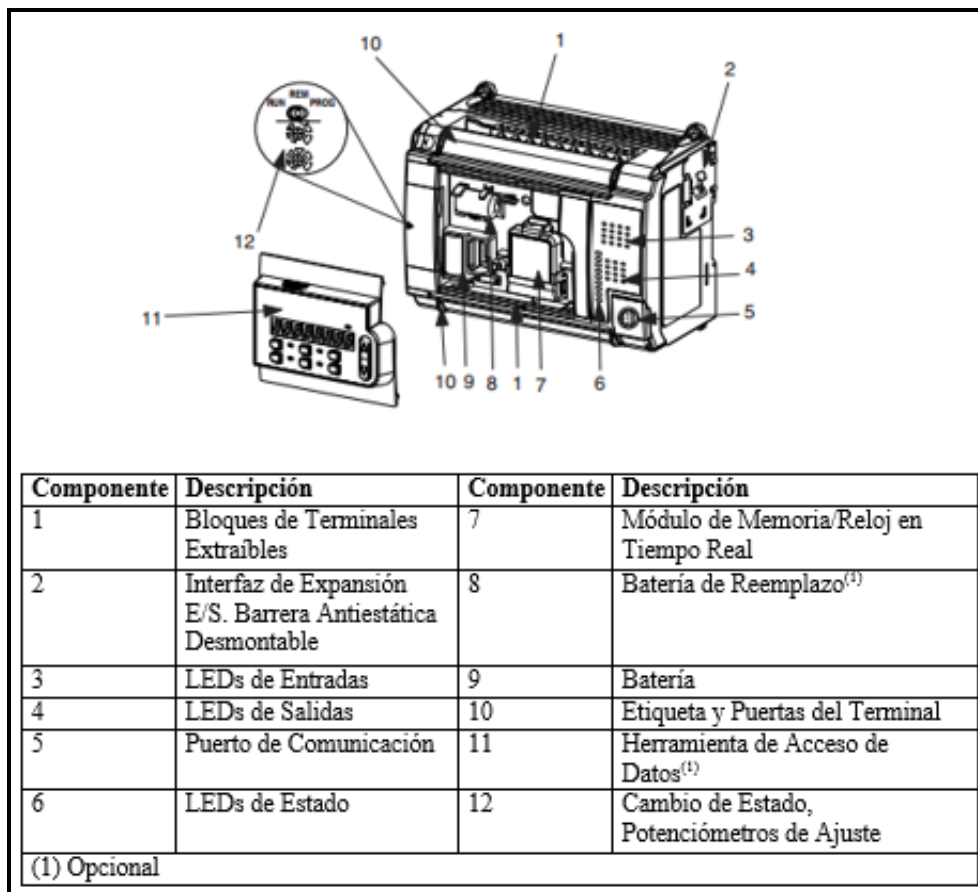
Anexo 23. Sensor de CO₂ GMP221

Measurement parameter(s)	Carbon dioxide
Measurement range	0...2 % CO ₂ 0...3 % CO ₂ 0...5 % CO ₂ 0...10 % CO ₂ 0...20 % CO ₂ NOTE: For the best accuracy, it is advisable to always use the lowest sufficient measurement range for the application.
Measurement accuracy	±(1.5% of range + 2 % of reading)
Operating temperature	-20 ... +60 °C (-4 ... +140 °F)
Analog outputs	0 ... 1 V
Housing classification	IP65

Anexo 24. Descripción del sensor GMP221



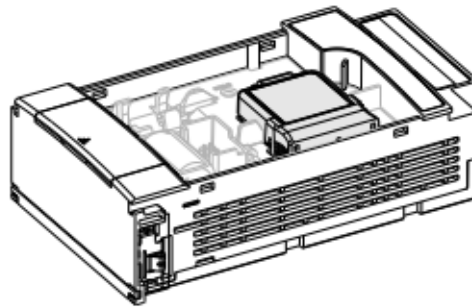
Anexo 25. PLC MicroLogix 1500



Anexo 26. Características físicas de PLC MicroLogix 1500

Controller	Firmware Release	Available for Sale Date	Catalog Number Series	Catalog Number Revision	OS FRN Number	Feature and Functionality Changes	Required Version of RSLogix 500/RSLogix 500 Starter Software
1764-LSP	Initial Release	February 1999	A	B	2	Initial Release	3.01.00
	Enhancement	October 1999	A	C	3	Power Supply and Expansion Cable Compatibility	3.01.00
	Series B Release	March 2000	B	A	4	String Data File Type, ASCII Instruction Set, Modbus RTU Slave Protocol, Ramping (when using PWM outputs), Static Data File Protection, RTC Messaging	4.00.00
	Enhancement	October 2000	B	B	5	PTO Controlled Stop, Memory Module Program Compare Bit Enhancement	4.50.00
	Series C Release	September 2001	C	A	6	Floating Point Data File Support, Programmable Limit Switch (PLS), Real Time Clock Adjust (Copy Word), Absolute Value, Gray Code, Recipe, Message Instruction Support for 1769-SDN	5.10.00
1764-LRP	Initial Release	March 2000	B	A	4	Initial Release - Same Functionality as 1764-LSP	4.00.00
	Enhancement	October 2000	B	B	5	PTO Controlled Stop, Memory Module Program Compare Bit Enhancement	4.50.00
	Series C Release	September 2001	C	A	6	Floating Point Data File Support, Programmable Limit Switch (PLS), Real Time Clock Adjust (Copy Word), Absolute Value, Gray Code, Recipe, Message Instruction Support for 1769-SDN	5.10.00

Anexo 27. Software requerido para la programación



Memory module mounted on 1764-LSP processor.

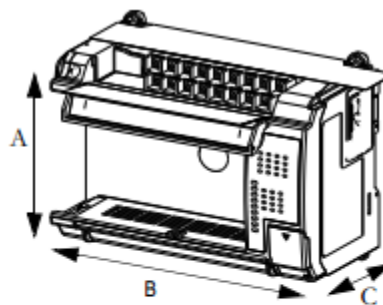
The following memory modules and real-time clock modules are available:

Catalog Number	Function	Memory Size
1764-RTC	Real-Time Clock	not applicable
1764-MM1	Memory Module	8K
1764-MM1RTC	Memory Module and Real-Time Clock	8K
1764-MM2 ⁽¹⁾	Memory Module	16K
1764-MM2RTC ⁽¹⁾	Memory Module and Real-Time Clock	16K
1764-MM3 ⁽²⁾	Memory Module	16K
1764-MM3RTC ⁽²⁾	Memory Module and Real-Time Clock	16K

(1) For 1764-LRP programs greater than 8k, use the 1764-MM2 or 1764-MM2RTC.

(2) The 1764-MM3.xxx modules have the same user memory as the 1764-MM2.xxx modules except recipe data size. Recipe data which was stored to the Data Log Queue in the MicroLogix 1500 LRP can be stored to the 1764-MM3.xxx modules. There is no difference in functionality between the 1764-MM2.xxx and 1764-MM3.xxx modules except the 1764-MM3.xxx modules can save recipe data from the Data Log Queue.

Anexo 28. Módulos de memoria

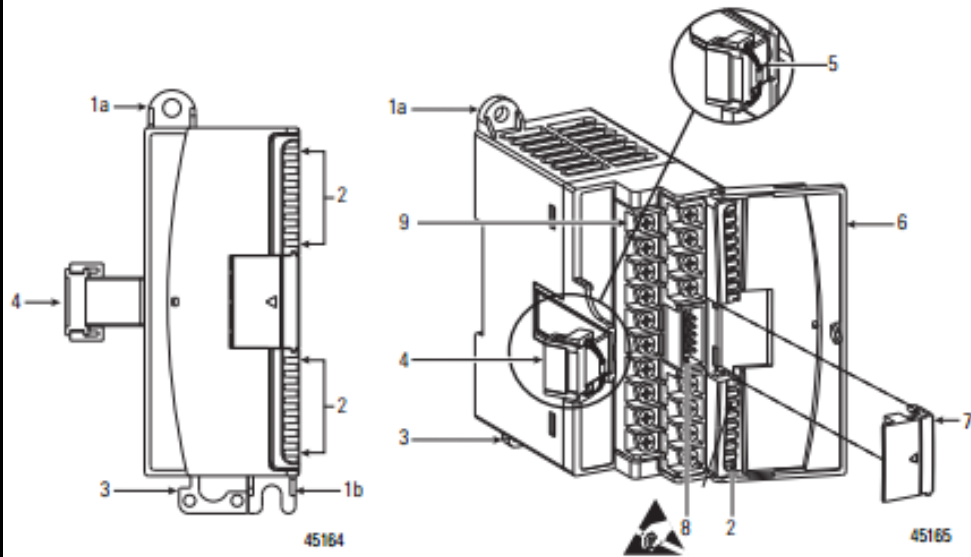


Dimension ⁽¹⁾	1764-24AWA	1764-24BWA	1764-28BWB
Height (A)	DIN latch open: 138 mm (5.43 in.), DIN latch closed: 118 mm (4.65 in.)		
Width (B)	168 mm (6.62 in.)		
Depth (C)	87 mm (3.43 in.)		

(1) See Controller Dimensions on page A-9 for more dimensional information.

Anexo 29. Dimensiones del PLC MicroLogix 1500

Module Description



This equipment is sensitive to electrostatic discharge (ESD).
Follow ESD prevention guidelines when handling this equipment.

Front view

Left side view

	Description		Description
1a	Upper panel mounting tab	5	pull loop
1b	Lower panel mounting tab	6	module door with terminal identification label
2	I/O diagnostic LEDs	7	bus connector cover
3	DIN rail latch	8	bus connector with male pins
4	flat ribbon cable with bus connector (female pins)	9	terminal block

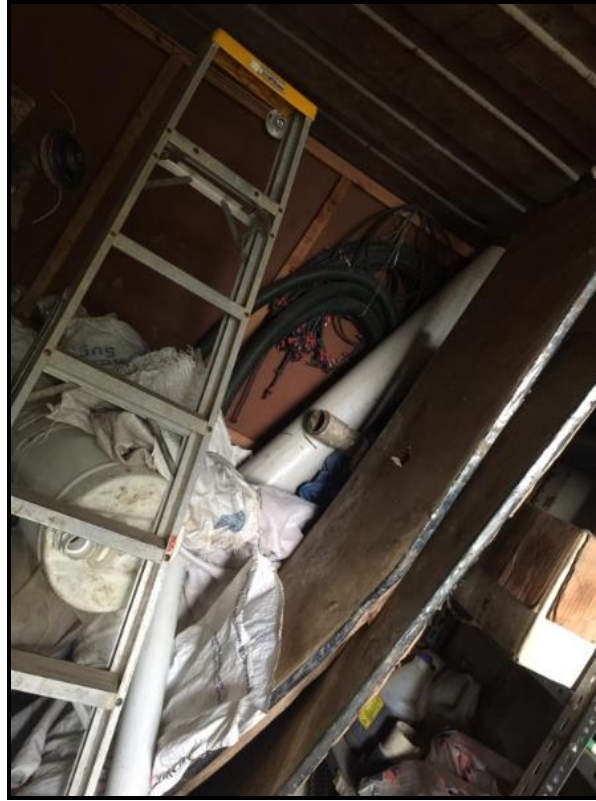
Anexo 30. Módulo de expansión 1746-iq16 MicroLogix



Anexo 31. Entrada y Área de esterilización del invernadero



Anexo 32. Área de esterilización del invernadero



Anexo 33. Cuarto de herramientas



Anexo 34. Nutrientes y fertilizantes en el cuarto de herramientas



Anexo 35. Cuarto de desechos