UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERA E INGENIERO ELECTRÓNICOS

TEMA:

APLICACIÓN DE UN SISTEMA ACONDICIONADOR DE VARIABLES PARA EL CULTIVO DE TOMATE ROJO BAJO INVERNADERO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

AUTORES:

NORMA ANGELICA CAÑIZARES SINAILIN

MOISES EZEQUIEL BEDOYA PAEZ

TUTOR:

ANÍBAL ROBERTO PÉREZ CHECA

Quito, enero de 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Norma Angelica Cañizares Sinailin, con documento de identificación N° 1720185758 y Moises Ezequiel Bedoya Páez, con documento de identificación N° 1719453845, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: APLICACIÓN DE UN SISTEMA ACONDICIONADOR DE VARIABLES PARA EL CULTIVO DE TOMATE ROJO BAJO INVERNADERO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e ingeniera electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....	.....
Moises Ezequiel Bedoya Páez	Norma Angelica Cañizares Sinailin
Cédula: 1719453845	Cédula: 1720185758
Fecha: Quito, Enero de 2016	Fecha: Quito, Enero de 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación APLICACIÓN DE UN SISTEMA ACONDICIONADOR DE VARIABLES PARA EL CULTIVO DE TOMATE ROJO BAJO INVERNADERO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA realizado por Norma Angelica Cañizares Sinailin, con documento de identificación N° 1720185758 y Moises Ezequiel Bedoya Páez, con documento de identificación N° 1719453845, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero de 2016

.....

Aníbal Roberto Pérez Checa
CI: 1711423440

DEDICATORIA

Dedicó este proyecto de titulación a mis padres, Guillermo Bedoya e Hilda Páez, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Su tenacidad, sacrificio y lucha incansable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar. Es por ello que soy lo que soy ahora.

A mis hermanos, Elizabeth y Miguel, quienes siempre a pesar de las dificultades, problemas y tropiezos me brindaron su apoyo.

A Angelica Cañizares y sus padres por su tiempo, apoyo y confianza que depositaron en mí.

Ezequiel Bedoya Páez

A mis padres Manuel y Josefina, por el apoyo y motivación que siempre me han brindado a lo largo de mi vida, quienes con su ejemplo me han enseñado a no darme por vencida en cada uno de los retos que se me han presentado. En especial por el amor, cariño y confianza que eh recibido de ellos en los buenos y malos momentos.

A mis hermanos, Jeanneth y Jorge, por brindarme la fortaleza para seguir adelante, por sus consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A Ezequiel Bedoya, a sus padres, y a mis verdaderos amigos por su tiempo, apoyo y dedicación, por ser las personas con las que puedo contar siempre y las que me han orientado en todo momento.

Angelica Cañizares Sinailin

AGRADECIMIENTOS

A nuestros profesores a quienes les debemos parte de nuestros conocimientos, al Ingeniero Roberto Pérez, por su apoyo y paciencia, por compartir con nosotros sus conocimientos e ideas para el desarrollo del proyecto.

Y un eterno agradecimiento a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana la cual nos abrió las puertas preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1 ..... **2**

MARCO CONCEPTUAL **2**

1.1 Condiciones climáticas y su influencia en la producción de tomate rojo 2

1.2 Invernadero 4

1.2.1 Ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero 4

1.3 Invernaderos inteligentes o automatizados 4

1.4 Condiciones para el desarrollo del cultivo de tomate rojo 5

1.4.1 Temperatura 5

1.4.2 Humedad relativa 6

1.4.3 Humedad del suelo 6

1.4.4 Cantidad de agua a regar de acuerdo a la fase de cultivo 7

1.4.5 Fase de cultivo 8

1.5 Descripción de los sistemas de un invernadero 8

1.5.1 Sistema de riego 8

1.5.2 Sistema de ventilación 9

1.6 Sistemas difusos 9

CAPÍTULO 2 ..... **11**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE **11**

2.1 Cálculo de la acometida 11

2.2 Diseño del sistema eléctrico 12

2.3 Layout de la distribución de los elementos en el tablero eléctrico 13

2.3.1 Cálculo del dimensionamiento del tablero eléctrico. 14

2.4 Diseño e implementación del sistema de riego. 16

2.4.1 Selección de la manguera de goteo y la electrobomba de agua 18

2.4.2 Selección del número de tags (electroválvulas) 19

2.4.3 Selección del número de sensores de humedad 20

2.5 Instrumentación del sistema de riego. 21

2.5.1 Sensor de humedad del suelo 21
2.5.2 Acondicionador WATERMARK 200SS-V 22
2.6 Diseño e implementación del sistema de ventilación 23
2.6.1 Diseño del sistema de cortinas laterales y frontal 24
2.6.2 Selección del número de sensores de temperatura 25
2.7 Instrumentación del sistema de ventilación. 26
2.7.1 Sensor de temperatura 26
2.7.2 Conexión de la PT-100 26
2.7.3 Signal Board para RTD SB 1231V 27
2.8 Tablero eléctrico 28
2.8.1 Indicadores y pulsadores 28
2.8.2 Ubicación del tablero eléctrico principal y secundario 29
2.9 Montaje del tablero de control 30
2.10 Cableado y etiquetado 32
CAPÍTULO 3 33
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE 33
3.1 Diseño del control fuzzy para el sistema de riego 33
3.2 Diseño del control fuzzy para el sistema de ventilación 35
3.3 Diagrama de flujo 37
3.3.1 Diagrama de flujo principal 37
3.3.2 Diagrama de flujo del controlador FUZZY 38
3.3.3 Diagrama de flujo del CONTROL DE RIEGO 38
3.3.4 Diagrama de flujo del CONTROL DE VENTILACIÓN 40
3.3.5 Diagrama de flujo de los ACTUADORES DEL SISTEMA DE RIEGO .. 41
3.3.6 Diagrama de flujo de los ACTUADORES DEL SISTEMA DE VENTILACION 42
3.4 Implementación del programa en TIA PORTAL 43
CAPÍTULO 4 47
ANÁLISIS Y RESULTADOS 47
4.1 Comprobación del funcionamiento del sistema de riego y ventilación 47
4.2 Contraste entre la producción automatizada y tradicional 47

4.3 Análisis de costos 48

CONCLUSIONES 54

RECOMENDACIONES 56

LISTA DE REFERENCIAS 57

ANEXOS 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de temperatura general. 5
Tabla 2. Rango de temperatura especifico. 6
Tabla 3. Datos de la humedad del suelo 7
Tabla 4. Cantidad de agua a regar de acuerdo a la fase de cultivo. 8
Tabla 5. Fase de cultivo. 8
Tabla 6. Calibre AWG y Corriente Nominal Total. 12
Tabla 7. Características del medidor eléctrico 12
Tabla 8. Medidas del ancho de los elementos del tablero principal. 14
Tabla 9. Medidas del largo de los elementos del tablero principal. 14
Tabla 10. Medidas del ancho de los elementos del tablero secundario. 15
Tabla 11. Medidas del largo de los elementos del tablero secundario. 15
Tabla 12. Dimensiones de los tableros principal y secundario. 16
Tabla 13. Capacidad de plantas de tomate rojo 17
Tabla 14. Capacidad de filas entre postes. 18
Tabla 15. Características técnicas de la manguera de goteo. 18
Tabla 16. Características técnicas de la electrobomba de agua. 19
Tabla 17. Variables lingüísticas. 33
Tabla 18. FAM del sistema de riego 35
Tabla 19. Variables lingüísticas 35
Tabla 20. FAM del sistema de ventilación 37
Tabla 21. Costos directos (Parte 1) 48
Tabla 22. Costos directos (Parte 2) 49
Tabla 23. Total de costos directos 50
Tabla 24. Costos indirectos 50
Tabla 25. Costo total 50
Tabla 26. Flujo de caja 51
Tabla 27. Indicadores del proyecto 53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bloque difusor 10
Figura 2. Layout del tablero principal 13
Figura 3. Layout del tablero secundario 13
Figura 4. Número de tags 20
Figura 5. Medidor de humedad Moisture Meter 20
Figura 6. Sensor Watermark 200SS-5 22
Figura 7. Instalación del sensor WATERMARK 200SS-5 22
Figura 8. Acondicionador Watermark 200SS-V 23
Figura 9. Termómetro MAXIMA MINIMA 24
Figura 10. Sistema de chumaceras 25
Figura 11. PT-100 SITRANS TS 500 26
Figura 12. Conexión a 4 hilos de la PT-100 27
Figura 13. RTD SB 1231V 28
Figura 14. Pulsadores y Luces piloto 29
Figura 15. Ubicación del tablero eléctrico principal y secundario 30
Figura 16. Distribución y colocación de canaletas y riel DIM 30
Figura 17. Colocación de luces piloto y pulsadores en el tablero principal 31
Figura 18. Colocación de luces piloto en el tablero secundario 31
Figura 19. Cableado y etiquetado del tablero principal y secundario 32
Figura 20. Entrada 1 sistema de riego 34
Figura 21. Entrada 2 sistema de riego 34
Figura 22. Salida sistema de riego 34
Figura 23. Entrada 1 sistema de ventilación 36
Figura 24. Entrada 2 sistema de ventilación 36
Figura 25. Salida del sistema de ventilación 36
Figura 26. Diagrama de flujo principal 38
Figura 27. Secuencia del controlador fuzzy 38
Figura 28. Diagrama de flujo del control de riego 39
Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de ventilación 40
Figura 30. Diagrama de los actuadores del riego 41
Figura 31. Diagrama de flujo del de los actuadores del sistema de ventilación 42
Figura 32. Visualización de la fecha y hora 43

Figura 33. Escalamiento del sensor de temperatura (PT100) 43
Figura 34. Escalamiento del sensor de humedad (WATERMARK) 44
Figura 35. Ciclo de cultivo por días 44
Figura 36. Cálculo de la variable lingüística del sensor de temperatura 45
Figura 37. Cálculo de la función de membresía del sensor de temperatura 45
Figura 38. Cálculo de la FAM de la ventilación 45
Figura 39. Cálculo de la inferencia 46
Figura 40. Desfusificación 46
Figura 41. Total de ingresos 47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Valores normalizados de cables AWG 59
Anexo 2. Calibración del acondicionador 200SS-VA 60
Anexo 3. Diagramas de fuerza y de control 62
Anexo 4. Dimensionamiento del invernadero 70
Anexo 5. Sistema de riego. 71
Anexo 6. Humedad diaria 72
Anexo 7. Temperatura maxima-minima 75
Anexo 8. Sistemas de cortinas 77
Anexo 9. Datos y grafica de las pruebas de campo de la temperatura diaria 79
Anexo 10. Diseño del tablero eléctrico 84
Anexo 11. Características del PLC Simatic S7 1200, CPU1214C (AC/DC/relé) 86
Anexo 12. Sistema de riego 89
Anexo 13. Sistema de ventilación 93
Anexo 14. Comprobación de los sistemas implementados 97
Anexo 15. Datos y graficas del contraste entre la producción automatizada y tradicional 101
Anexo 16. Datos técnicos de la electroválvula y toma de datos 104

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como propósito diseñar e implementar un control automatizado mediante lógica difusa de los sistemas de riego y ventilación para el cultivo de tomate rojo bajo invernadero, para lo cual se realizó una revisión de los temas relacionados con las condiciones climáticas y su influencia en la producción de tomate rojo y que sirvió de base teórica. Además se realizó pruebas de campo, análisis de datos y gráficas tanto de temperatura ambiente y humedad del suelo, con lo cual se determinó que con un solo sensor es suficiente para cada variable a controlar.

En este proyecto se utilizó un PLC Siemens S7-1200, CPU 1214C (AC/DC/RY) ya que por las características técnicas, este se acopló a las necesidades del proyecto, además el software propio de esta marca, TIA PORTAL, tiene un fácil manejo. El PLC recibe en sus entradas las señales acondicionadas provenientes de los sensores, procesa la información y la envía hacia los elementos de control, maniobra y señalización conectados en sus salidas, dando como resultado el control de las variables.

Se obtuvieron indicadores que al ser analizados y contrastados, entregaron como resultado una mejor calidad y un mayor índice de producción en la cosecha de la parte automatizada respecto a la tradicional.

ABSTRACT

This project was aimed to design and implement an automated control by fuzzy logic of irrigation and ventilation systems for the cultivation of red tomato greenhouse, for which a review of issues related to weather conditions and their influence was held in the production of red tomato and served as a theoretical basis. In addition field trials, data analysis and graphical both ambient temperature and soil moisture, which was determined with a single sensor is sufficient for each variable to control was performed.

In this project, a PLC Siemens S7-1200, CPU 1214C (AC / DC / RY) was used as the technical characteristics, this was coupled to the needs of the project also own software of this brand, TIA PORTAL, has a easy operation. The PLC receives at its inputs the conditioned signals from the sensors, processes the information and sends it to the control elements, switching and signaling connected at their outputs, resulting in the control variables.

Indicators to be analyzed and contrasted, arrogated to result in better quality and higher production rate in the harvest of automated part over traditional obtained.

INTRODUCCIÓN

Los invernaderos automatizados fueron diseñados para crear las condiciones ambientales apropiadas y específicas para cada cultivo. Son usados para el cuidado de plantas, las cuales al no tener las condiciones ambientales necesarias presentan diferentes dificultades en su desarrollo durante su ciclo de cultivo.

En el presente proyecto técnico se busca una solución práctica y económica a la inestabilidad del clima. En este se pretende mejorar de manera eficiente la producción de tomate rojo bajo invernadero utilizando un control basado en lógica difusa. El objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de control automático para las variables críticas que se presenta en el cultivo de tomate rojo bajo invernadero como son: temperatura, humedad y fase de cultivo.

En el capítulo uno, se realizará una revisión sobre los temas relacionados con las condiciones climáticas y su influencia en la producción de tomate rojo que servirá de base teórica, además se realizará una introducción a la teoría de los sistema difusos.

En el capítulo dos, se realizará el cálculo de la acometida, la distribución e implementación de los elementos de control, maniobra, señalización y protección en el tablero eléctrico y el diseño e implementación del hardware de los sistemas a controlar. Se realizarán pruebas de campo, cálculos y mediciones de las variables involucradas en este proceso.

En el capítulo tres, se detalla el diseño e implementación del software mediante un control fuzzy para el sistema de riego y ventilación para lo cual se usará el software TIA PORTAL para la programación del PLC Simatic 1200, CPU 1214C (AC/DC/RY).

En el capítulo cuatro, una vez finalizado el proceso de la automatización del sistema acondicionador de variables para el cultivo de tomate rojo bajo invernadero, se realizó el análisis de costo-beneficio para conocer si este proyecto es viable o no.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

1.1 Condiciones climáticas y su influencia en la producción de tomate rojo

La inestabilidad del clima afecta a toda la economía, pero el sector agrícola tiene una mayor vulnerabilidad. El cultivo de tomate rojo está bien adaptado a las condiciones medias climáticas de un lugar, pero es sensible a los cambios extremos como son días soleados y tardes frías acompañadas de fuertes lluvias en invierno, así como la presencia de bajas temperaturas (heladas) en las madrugadas de verano, esto afectándolo de manera directa al crecimiento del tomate rojo.

Los factores climáticos de la parroquia de Tababela donde se quiere establecer el proyecto del invernadero y la adaptación del cultivo de tomate rojo deben ser tomados en cuenta. Por esta razón el invernadero se ha diseñado para crear las condiciones ambientales apropiadas y específicas para el cultivo de tomate rojo, de esta manera protegiéndolo de condiciones climáticas adversas como son:

- **Viento**

El efecto del viento sobre el cultivo de tomate rojo tiene relación directa con su intensidad y duración, si es moderado resulta favorable para el cultivo porque transporta polen y activa la regular transpiración de la planta.

Fuertes vientos pueden provocar lesiones en las plantas, como rotura de ramas y flores o daños en las hojas; además de una caída precoz de los frutos dando como consecuencia una producción pobre y de baja calidad.

- **Heladas**

El cultivo de tomate rojo es muy susceptible al daño por heladas, bajas temperaturas que se presentan especialmente en época de verano y ocurren entre 2500 msnm y 3000 msnm. Con la presencia de estas se producen quemaduras en las hojas de las plantas y son muy frecuentes en las madrugadas cuando la temperatura tiende a descender a los 2°C o menos, ocasionando el congelamiento celular y luego con la

llegada del alba y una fuerte radiación solar las hojas afectadas se descongelan, explotan y se secan.

- **Sequías**

Otra condición climática influyente en el cultivo de tomate rojo es la sequía, debido a que las plantas ya sembradas sin agua no pueden crecer, ni desarrollarse en los tiempos propios del cultivo, e incluso provocando la pérdida del mismo.

- **Lluvias**

Las constantes y fuertes lluvias afectan al cultivo de tomate rojo porque:

- Imposibilitan hacer labores agrícolas.
- Provocan el crecimiento de malezas donde se prolifera la presencia de plagas.
- Ocasionan el amarillamiento y posterior muerte de las plantas por exceso de humedad en el suelo.

- **Granizo**

"Uno de los riesgos agro-climáticos que puede afectar a los cultivos es el granizo, el cual podría tener efectos diferentes dependiendo del momento fenológico del cultivo en el que suceda y la intensidad del mismo. El granizo puede producir daños bien marcados, pérdidas de área foliar fotosintéticamente activa, daño y quebrado de tallos, teniendo como consecuencia disminuciones en el rendimiento del cultivo establecido o pérdida total del mismo" (Bantle, Cabrera, Carrillo, & Martinelli, 2011)

- **Radiación solar**

El cultivo de tomate rojo aprovecha la energía del sol para que la planta produzca alimento mediante la fotosíntesis y genere calor para incrementar su temperatura, por lo tanto es importante tener en cuenta que el lugar donde se va a realizar el cultivo tenga la suficiente cantidad de luz solar durante el día.

1.2 Invernadero

Es un espacio donde se desarrolla un microclima apropiado dependiendo el tipo de cultivo, en este proyecto sería específicamente para el de tomate rojo, partiendo del estudio técnico de las condiciones climáticas del lugar como son: temperatura, humedad relativa y ventilación adecuada, que permitan alcanzar una alta productividad, en menos tiempo, sin afectar el medio ambiente, protegiéndose de las lluvias, el granizo, las heladas, los insectos o los excesos de vientos que pudieran perjudicar el cultivo.

1.2.1 Ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero

Ventajas:

- Permite una protección contra condiciones climáticas externas.
- Obtención de cosechas fuera de época y permite producir durante todo el año.
- Mejor calidad de la cosecha, favoreciendo la obtención de productos sanos, similares en forma y tamaño, con madurez uniforme.
- Aumento considerable de la producción de dos a tres veces más, aún en épocas críticas.
- Uso racional del agua y de los nutrientes.

Desventajas:

- Alta inversión inicial, porque se requiere una infraestructura cuyo costo depende de los materiales con que se construya.
- Requiere de personal especializado, ya que de no tenerlo puede llevar a cometer errores de operación.
- Alta supervisión porque requiere de monitoreo constante de las condiciones ambientales dentro del invernadero para un mejor control de plagas, enfermedades y el desarrollo productivo del cultivo.

1.3 Invernaderos inteligentes o automatizados

Un invernadero inteligente es aquel que mediante sensores, actuadores, controlador, software especializado y una adecuada infraestructura pueden controlar las variables que intervienen en un cultivo (tomate rojo), sin la intervención del hombre, logrando una producción más eficiente que la de un invernadero normal.

Las principales variables a controlar y monitorear para el cultivo de tomate rojo son:

- Humedad del suelo
- Temperatura

1.4 Condiciones para el desarrollo del cultivo de tomate rojo

Un manejo adecuado de los factores micro climático es esencial para mantener un buen estado sanitario de cultivo de tomate rojo bajo invernadero. En este se puede influir en la temperatura, la humedad relativa y del suelo, ya sea mediante el riego, manejo de la ventilación y selección del plástico para proteger y cubrir el invernadero. A continuación se considerarán los factores más influyentes.

1.4.1 Temperatura

La temperatura es el factor climático determinante en los estados de desarrollo y procesos fisiológicos del tomate rojo durante sus diferentes fases de cultivo como: nacencia, desarrollo, floración y maduración de frutos, en donde el valor térmico que la planta alcanza dentro del invernadero, al no estar dentro de sus rangos permitidos estas se estresan disminuyendo su rendimiento. Como se puede observar en la tabla 1 y 2.

Tabla 1.

Rango de temperatura general

Temperatura	Mínima	12°C
	Óptima	20 a 24°C
	Máxima	34°C

Nota: Tabla de rangos de temperatura general que soporta el tomate rojo, Fuente: (Oceano, 2007, págs. 566-570)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 2.

Rango de temperatura especifico

Efectos en el cultivo de tomate rojo		Rangos
Se hiela la planta		2°C
Detiene su desarrollo		10 a 12°C
Mayor desarrollo de la planta		20 a 24°C
Desarrollo normal		16 a 27°C
Nacencia		18°C
Desarrollo	Día	18 a 21°C
	Noche	13 a 16°C
Floración	Día	16 a 23° C
	Noche	15 a 18°C
Maduración del fruto		15 a 22°C

Nota: Tabla de rangos específicos que soporta el cultivo de tomate rojo, Fuente: (Oceano, 2007, págs. 566-570)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

1.4.2 Humedad relativa

La humedad relativa óptima para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 50% y un 70% para su crecimiento y fertilidad.

Una humedad alta puede ocasionar:

- Desarrollo de enfermedades como: gotera y *Botrytis* o moho gris,
- Agrietamiento de fruto,
- Mala fecundación.

Por el contrario, la humedad baja produce:

- Mayor tasa de transpiración,
- Estrés hídrico,
- Reducción de fotosíntesis.

1.4.3 Humedad del suelo

La humedad del suelo es la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Mediante el método del tensiómetro se mide la tensión en centibares y por lo general trabaja entre 0 – 240 centibares, 0 cuando está saturado y aumenta conforme el suelo pierde humedad hasta 240 centibares. Cada suelo y cultivo requieren un

nivel de tensión determinada. En la Tabla 3 se presenta las lecturas correspondientes según la conformación del suelo:

Tabla 3.

Datos de la humedad del suelo

Lectura centibares	Interpretación
0-10	Suelo saturado o sobresaturado que se puede presentar hasta 3 días tras un riego abundante. Situación peligrosa cuando existen problemas de drenaje.
11-30	Capacidad de campo. Lecturas bajas para suelos arenosos y altas para suelos arcillosos. Durante este tiempo no se riegan para evitar la pérdida de agua y de nutrientes por lixiviación.
31-60	Intervalo para el inicio de riego: 30 – 40 en suelos arenosos y franco–arenosos, 40 – 50 en suelos francos, 50 – 60 en suelos arcillosos.
61-80	Limite peligroso, puede ocasionar un estrés hídrico que podría repercutir en la producción.
81 + centibares	El suelo se está secando peligrosamente.

Nota: Valores obtenidos mediante el método del tensiómetro, Fuente: (Copersa, 2014, pág. 5)
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

1.4.4 Cantidad de agua a regar de acuerdo a la fase de cultivo

La cantidad de agua a regar es fundamental para la obtención de niveles altos de producción. Al elegir un sistema de riego se debe considerar la disponibilidad de agua, clima, economía. Un sistema recomendable para el cultivo de tomate rojo es el que se realiza por goteo, además, las plantas de acuerdo a su fase de cultivo necesitan de una cierta cantidad de agua para su crecimiento. Este se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4.

Cantidad de agua a regar de acuerdo a la fase de cultivo

Estado de desarrollo del cultivo	Agua por planta
Primera semana luego del trasplante	100 a 150 cm^3
Segunda y cuarta semanas	250 a 300 cm^3
Quinta y sexta semanas	400 a 500 cm^3
Séptima y novena semanas	600 a 800 cm^3
Decima semana en adelante	1000 a 1200 cm^3

Nota: Tabla de la cantidad de agua que requiere una planta para su desarrollo, Fuente: (Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar (AAIC), 2003, págs. 28-29)
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

1.4.5 Fase de cultivo

El tomate rojo tiene esencialmente seis fases de cultivo, como se observa en la Tabla 5, que son:

Tabla 5.

Fase de cultivo

Fase de cultivo	Duración en semanas
Nacencia o germinación	5
Siembra o trasplante	1
Desarrollo	3
Enflorecimiento	2
Engrose	3
Maduración	16

Nota: Tabla de la duración de cada fase de cultivo del tomate rojo, Fuente: (Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar (AAIC), 2003, págs. 28-29)
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

1.5 Descripción de los sistemas de un invernadero

1.5.1 Sistema de riego

Un sistema de riego se refiere a un conjunto de estructuras que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria para las plantas. Este consta de una serie de componentes como son: reservorio, bomba,

filtros, electroválvulas, conducto principal, válvula de control de presión, conducto secundario, distribuidores múltiples. Sin embargo debe notarse que no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, el conjunto de componentes dependerá si se trata de riego superficial, por aspersión, o por goteo.

1.5.1.1 Riego por goteo

Consiste en aportar el agua de manera localizada justo al pie de cada planta, utilizando goteros. Estos pueden ser:

- Integrados en la propia tubería o
- De botón, que se pinchan en la tubería.

El riego por goteo tiene las siguientes ventajas:

- Ahorro de agua.
- Se mantiene un nivel de humedad específico en el área de cultivo.

El inconveniente más típico, cuando se utiliza el riego por goteo, es que los goteros se taponen, especialmente por residuos contaminantes en el agua, para esto se debe realizar un buen proceso de filtrado.

1.5.2 Sistema de ventilación

La ventilación es un factor importante en el cultivo de tomate rojo bajo invernadero ya que es fundamental la renovación y circulación del aire dentro éste, sobre todo al momento de prevenir la aparición de plagas y enfermedades por la acumulación de calor y humedad, ya sea por medio de cortinas o ventiladores de acuerdo con las condiciones del clima y de las necesidades del cultivo.

1.6 Sistemas difusos

"La lógica difusa o borrosa es un tipo de lógica que reconoce más que simples valores verdaderos o falsos. Con lógica difusa, las proposiciones pueden ser representadas con grados de veracidad o falsedad". (Lozano Gutiérrez & Fuentes Martín, 2003, pág. 14)

La lógica borrosa es una rama de la inteligencia artificial la cual consta de las siguientes etapas como se observa en la figura 1.

Bloque difusor

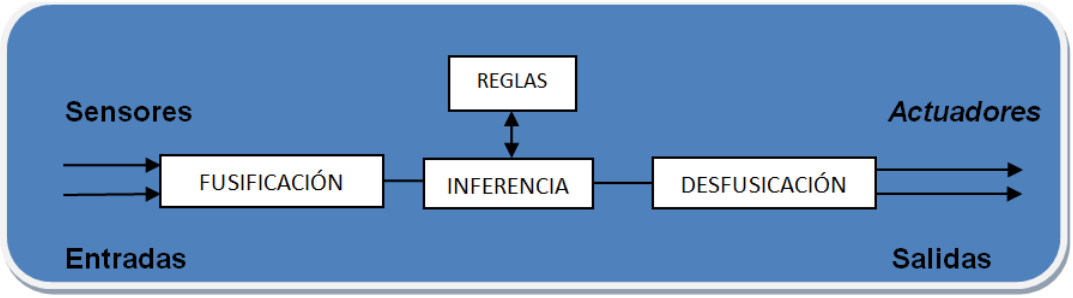


Figura 1. La figura muestra los bloques de un controlador difuso

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para una mayor información acerca de los sistemas difusos, su fusificación, inferencia y desfusificación, se la puede encontrar detalladamente en los libros de Lógica Borrosa de los autores Lozano Gutiérrez & Fuentes Martín además de Fuzzy Sets del autor Lofti Ali Asken Zadeh.

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

2.1 Cálculo de la acometida

Para el cálculo de la acometida es necesario conocer el consumo total de corriente nominal de todas las cargas que intervienen en el proyecto entre estos se encuentran las siguientes: bombas, motores, ventiladores, electroválvulas, PLC, contactores, luminaria.

Para realizar el cálculo de la corriente nominal de los motores se empleara la ecuación (2.1):

$$A = \frac{hp\ x\ 746w}{V\ x\ \mathrm{n}\ x\ cos\Phi} \qquad \text{Ecuación (2.1)}$$

Dónde:

hp = potencia del motor

V = voltaje

n = eficiencia del motor (0.8 valor típico)

cosΦ = factor de potencia del motor

Mediante una hoja de Excel se realizará los cálculos de corriente y calibre AWG para cada una de las cargas, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

Calibre AWG y Corriente Nominal Total

Elemento		Voltaje (V)	Potencia (HP)	Corriente nominal (A)	Calibre AWG
2	Ventiladores estáticos	120	0,181	3,520	14
2	Ventiladores giratorios	120	0,067	1,302	14
2	Mororreductores	220	0,250	2,649	14
1	Motor elevavidrios	24	0,134	6,508	14
2	Bomba de agua	220	1,000	10,596	12
3	Electroválvulas	24	0,003	0,437	18
Corriente Nominal Total (A):				25,012	

Nota: Tabla de los valores calculados del calibre AWG y corriente para los elementos de potencial del invernadero

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Al ser la corriente nominal total 25,012 amperios, este valor de acuerdo al anexo 1 indica la utilización del cable AWG 12, ya que éste soporta hasta 30 amperios en ductos.

2.2 Diseño del sistema eléctrico

Para la realización de este proyecto se solicitó a la empresa eléctrica la instalación de un medidor con las siguientes características, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7

Características del medidor eléctrico

Numero de fases	Numero de hilos c/cable	Voltaje (V)
2	7	110/220

Nota: Tabla que indica el cable AWG a utilizar y el número de fases del medidor

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Este proyecto requiere de $220V_{AC}$ para el funcionamiento de los motores y $110V_{AC}$ para el PLC, ventiladores entre otros, de acuerdo a las hojas de especificaciones técnicas de cada uno de ellos.

2.3 Layout de la distribución de los elementos en el tablero eléctrico

Es indispensable una buena ubicación de los elementos en los tableros, tanto principal como secundario, tomando como referencia la distribución mostrada en la figura 2 y 3, en base de la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), IEC-61439-2.

Layout del tablero principal

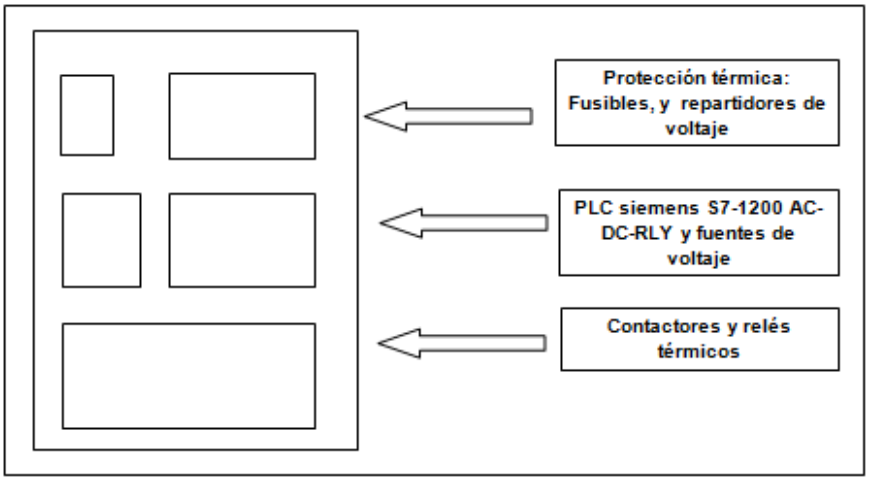


Figura 2. Layout de la distribución de los elementos del tablero principal

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Layout del tablero secundario

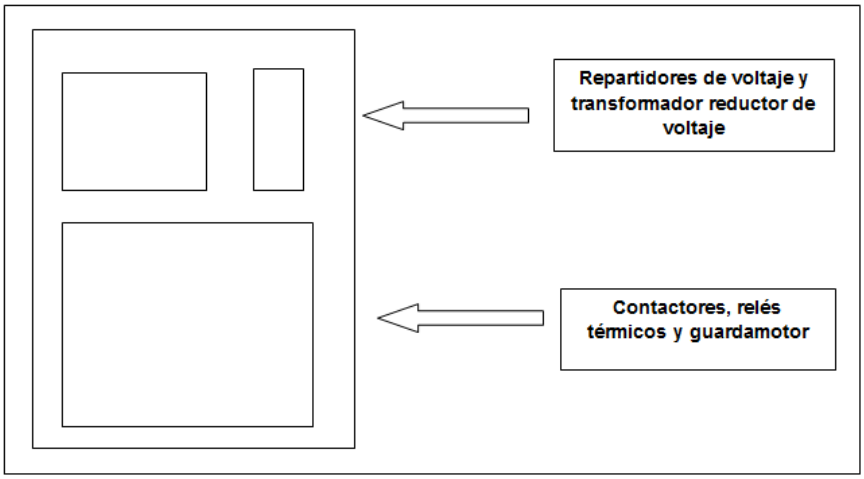


Figura 3. Layout de la distribución de los elementos en el tablero secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.3.1 Cálculo del dimensionamiento del tablero eléctrico.

Para el dimensionamiento del área del tablero a utilizar en el proyecto, se debe tomar en cuenta las dimensiones de cada elemento eléctrico y de control, como se observa en las tablas 8, 9, 10, 11.

Tabla 8.

Medidas del ancho de los elementos del tablero principal

Elemento	Dimensión ancho (m)	Cantidad	Total ancho (m)
Contactores	0,0500	2	0,1000
Contactores inversores	0,0170	11	0,1870
Distancia entre contactores	0,0050	11	0,0550
Relé inversor de giro	0,0200	1	0,0200
Ancho de la canaleta	0,0250	3	0,0750
Distancia entre canaleta y relés	0,0200	4	0,0800
			0,42

Nota: Tabla de los valores medidos de ancho de los elementos que se colocaron en el tablero principal

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 9.

Medidas del largo de los elementos del tablero principal

Elemento	Dimensión largo (m)	Cantidad	Total ancho (m)
Portafusibles, repartidores	0,0800	1	0,0800
PLC, fuentes	0,1400	1	0,1400
Contactor	0,0850	1	0,0850
Ancho de la canaleta	0,0250	5	0,1250
Distancia entre canaleta y elementos	0,0500	8	0,4000
			0,75

Nota: Tabla de los valores medidos de largo de los elementos que se colocaron en el tablero principal

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 10.

Medidas del ancho de los elementos del tablero secundario

Elemento	Dimensión ancho (m)	Cantidad	Total ancho (m)
Contactores	0,0500	1	0,0500
Contactores inversores	0,0170	4	0,0680
Distancia entre contactores	0,0050	6	0,0300
Relé de 8 posiciones	0,0350	1	0,0350
Ancho de la canaleta	0,0200	2	0,0400
Distancia entre canaleta y relés	0,0100	2	0,0200
			0,19

Nota: Tabla de los valores medidos de ancho de los elementos que se colocaron en el tablero secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 11.

Medidas del largo de los elementos del tablero secundario

Elemento	Dimensión largo (m)	Cantidad	Total ancho (m)
Repartidor, transformador	0,0800	1	0,0800
Contactor, relé térmico	0,1500	1	0,1500
Ancho de la canaleta	0,0200	3	0,0600
Distancia entre canaleta y elementos	0,0400	4	0,1600
			0,37

Nota: Tabla de los valores medidos de largo de los elementos que se colocaron en el tablero secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Una vez realizado el dimensionamiento total de los tableros tanto del principal como del secundario como se observan en las tablas 8, 9, 10, 11 y comparándolo con las dimensiones estándares existentes en el mercado, se decidió la compra de los tableros eléctricos como se observa en la Tabla 12 con las siguientes dimensiones:

Tabla 12.

Dimensiones de los tableros principal y secundario

Tablero eléctrico	Dimensiones (m)		
	Alto	**Ancho**	**Profundidad**
Principal	0,8	0,6	0,3
Secundario	0,4	0,3	0,2

Nota: Tabla de las medidas estándar de los tableros eléctricos adquiridos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

De acuerdo a los requisitos y necesidades del proyecto técnico, se diseñó el siguiente diagrama de distribución de los elementos que se ubicaran en el interior de cada uno de los tableros, como se observa en el anexo 10.

2.4 Diseño e implementación del sistema de riego.

Una vez dimensionado el área del invernadero en base al espacio físico de terreno a utilizarse y su área de cultivo, como se observa en el anexo 4, se procedió al cálculo de la capacidad de plantas de tomate rojo que se puede sembrar en éste. En base a la distancia entre filas y plantas, y con la ayuda de una hoja de Excel se determinó la cantidad de plantas que pueden se albergadas en dentro del espacio de cultivo, como se observa en la Tabla 13.

Para el cálculo de la capacidad de plantas de tomate rojo se usaron las siguientes ecuaciones:

$$npf = \frac{lf}{dp}$$ Ecuación (2.2)

$$tnp = npf * tf$$ Ecuación (2.3)

Dónde:

npf = número de plantas por fila

lf = largo de cada fila

dp = distancia entre plantas

tnp = total de número de plantas

tf = total de filas

Tabla 13.

Capacidad de plantas de tomate rojo

Calculo del número de plantas por fila	
Largo de cada fila (m)	31,7
Distancia entre plantas (m)	0,20
Total de plantas por fila	158,5
Calculo total del número de plantas	
Total filas	8
Total plantas	1268

Nota: Tabla del cálculo de la capacidad de plantas de tomate rojo que albergara el invernadero

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

La distancia más utilizada en la siembra de tomate rojo es de 1,2 m entre filas y 0,2 m entre plantas, ya que permite una mejor ventilación y radiación solar. No obstante, para este proyecto, por la estructura del invernadero y por los cálculos realizados, tabla 14, se decidió tomar una distancia entre filas de 1,45 m, porque con la distancia de 1,09 m se tendría una baja ventilación y radiación solar y con 2,18 m se perdería demasiado espacio entre filas lo cual perjudicaría la rentabilidad del proyecto.

Para el cálculo de la distancia entre filas se utilizó la ecuación 2.4 generando la tabla 14.

$$def = \frac{dep}{nf}$$ Ecuación (2.4)

Dónde:

def = distancia entre filas

dep = distancia entre postes

nf = número de filas

Tabla 14.

Capacidad de filas entre postes

Distancia entre postes (m)	Numero de filas (u)	Distancia entre filas (m)
4,35	2	2,18
4,35	3	1,45
4,35	4	1,09
4,35	5	0,87

Nota: Tabla para determinar la capacidad de filas entre postes

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.4.1 Selección de la manguera de goteo y la electrobomba de agua

En base al área a cultivar, pendiente del suelo, ampliaciones futuras, accesibilidad y condiciones para el desarrollo del cultivo de tomate rojo se diseñó el sistema de riego, como se observa en el anexo 5.

De acuerdo a la cantidad plantas (1 gotero/planta), Tabla 13, y los parámetros establecidos por los fabricantes de la manguera de goteo y electrobomba de agua mostradas en las Tablas 15 y 16, se optó por la compra de una electrobomba de 2HP.

Tabla 15.

Características técnicas de la manguera de goteo

Características técnicas de la manguera de goteo	
Distancia entre goteros	0,2 m
Diámetro	0,016 m
Caudal mínimo	(1500goteros) / (15000 L/hora)
Caudal máximo	(1500goteros) / (50000 L/hora)

Nota: Tabla de los parámetros establecidos por los fabricantes de la manguera de goteo

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 16.

Características técnicas de la electrobomba de agua

Características técnicas de la electrobomba de agua	
Alimentación	220 VCA - 60Hz
Altura máxima	20m
Caudal máximo	60000 L/hora
Conexiones	2"
Motor	2 HP
Tipo	Centrifuga

Nota: Tabla de los parámetros establecidos por los fabricantes de la electrobomba de agua

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.4.2 Selección del número de tags (electroválvulas)

De acuerdo a los datos técnicos de la electroválvula, anexo 16 (b), y con la ayuda del manómetro se procedió a realizar pruebas de campo para obtener la tabla de regulación de caudal, anexo 16 (a), abriendo y cerrando la llave de control de ajuste de flujo de la electroválvula.

En base al anexo 16 (a) se diseñó el sistema de riego con tres tags, como se muestra en la figura 4, regulándolos a una vuelta y de esta manera obtener 16000L/hora con una electroválvula abierta y 48000L/hora con las tres electroválvulas abiertas al mismo tiempo, y de esta manera cumplir con los parámetros mínimos y máximos establecidos en la tablas 15 y 16.

Número de tags

Figura 4. Distribución de tags (electroválvulas), filtro y electrobomba

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.4.3 Selección del número de sensores de humedad

Para determinar el número de sensores de humedad a utilizar se realizaron pruebas de campo con el medidor de humedad Moisture Meter, Figura 5, el cual mide la humedad de la tierra y de plantas en jardín.

Medidor de humedad Moisture Meter

Figura 5. Toma de la medida de humedad en un día de pruebas de campo

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Se clava la sonda en la tierra hasta ¾ partes de su longitud. La aguja indica la humedad de la tierra de la siguiente manera:

- Zona roja: bastante seco o seco
- Zona verde: la humedad es correcta
- Zona azul: se encuentra muy húmeda

Una vez realizadas las pruebas de campo, toma de datos y gráficas como se observa en el anexo 6 (a), se determinó que con el uso de un solo sensor de humedad de suelo para este proyecto es suficiente el cual será ubicado en la posición 5 (P5).

2.5 Instrumentación del sistema de riego.

Tomando en cuenta que el cultivo de tomate rojo se realizará en el suelo se determinó la necesidad de adquirir un sensor que cumpla con las siguientes características:

- Sea diseñado para cultivos de larga duración.
- Se adapte a las condiciones del suelo donde se realizará el cultivo.
- Entregue valores a su salida de 4-20 mA o de 0-10 VDC.

2.5.1 Sensor de humedad del suelo

Para este proyecto se usará el sensor de humedad del suelo Watermark 200SS-5, ya que este es directamente proporcional a los cambios de humedad del suelo como se observa en la Tabla 3, este sensor se muestra en la Figura 6 y su instalación en la Figura 7.

Está formado por dos electrodos concéntricos incrustados en un conglomerado especial sujetado por una membrana sintética y encapsulado en una funda de acero inoxidable. Incorpora un disco amortiguador para reducir la influencia de la salinidad en las lecturas. Correctamente instalado responde rápidamente a los cambios de la humedad del suelo. (Copersa, 2014, pág. 5)

Sensor Watermark 200SS-5

Figura 6. Foto del sensor Watermark con sus respectivos cables número 18 AWG de conexión, Fuente: (Copersa, 2014, pág. 1)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Instalación del sensor WATERMARK 200SS-5

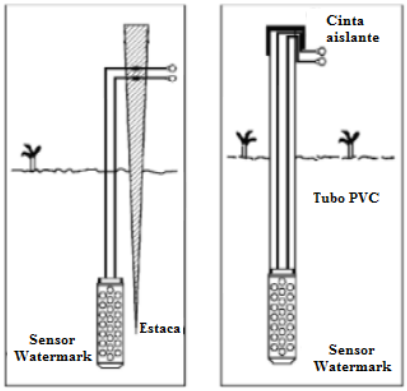


Figura 7. Instalación del sensor Watermark utilizando una estaca y un tubo PVC, Fuente: (Copersa, 2014, pág. 3)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.5.2 Acondicionador WATERMARK 200SS-V

El acondicionador WATERMARK 200SS-V, como se muestra en la figura 8, cambia los valores de muestreo del sensor Watermark 200SS-5 a una salida de voltaje, como se observa en el anexo 2, que permite una fácil integración con los sistemas electrónicos.

Tiene las siguientes características:

- 0-2.8 Voltios de salida lineal que representan 0-239 Centibares.
- Compensación de temperatura incorporada.

Acondicionador Watermark 200SS-V

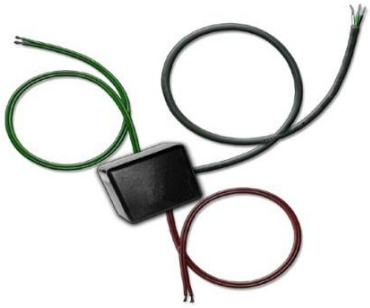


Figura 8. Foto del acondicionador Watermark con sus respectivos cables de conexión, Fuente: (Copersa, 2014, pág. 6)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.6 Diseño e implementación del sistema de ventilación

De acuerdo al diseño y estructura del invernadero como se observa en el anexo 7, y a las condiciones climáticas y su influencia en el cultivo de tomate rojo, se decidió realizar pruebas de campo con un termómetro registrador de temperatura MAXIMA MINIMA, figura 9.

Termómetro MAXIMA MINIMA

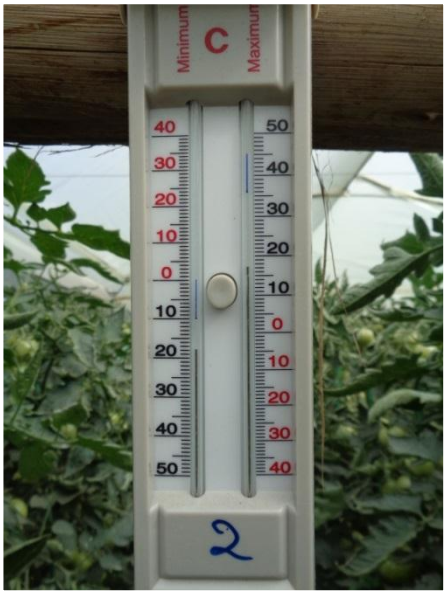


Figura 9. Toma de temperatura diaria en la posición 2

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para ejecutar las pruebas de campo se realizó la distribución de los termómetros como se observa en el anexo 7 (a), dando como resultado temperaturas diurnas muy altas, por lo cual se optó por colocar ventiladores tanto fijos y giratorios dentro del invernadero, para que ayuden al sistema de cortinas en la renovación del aire y de esta manera las altas temperaturas diurnas desciendan.

2.6.1 Diseño del sistema de cortinas laterales y frontal

Para el diseño del sistema de cortinas se optó por varios métodos hasta encontrar el apropiado como se observa en el anexo 8. En este proyecto después de algunos ensayos el sistema de chumaceras, figura 10, resultó ser el más adecuado, este se encarga de abrir o cerrar la cortina del invernadero por medio de un motor eléctrico al cual se implementó una unión de rosca para que dependiendo del sentido de giro del motor, se abra o se cierre la cortina.

Sistema de chumaceras

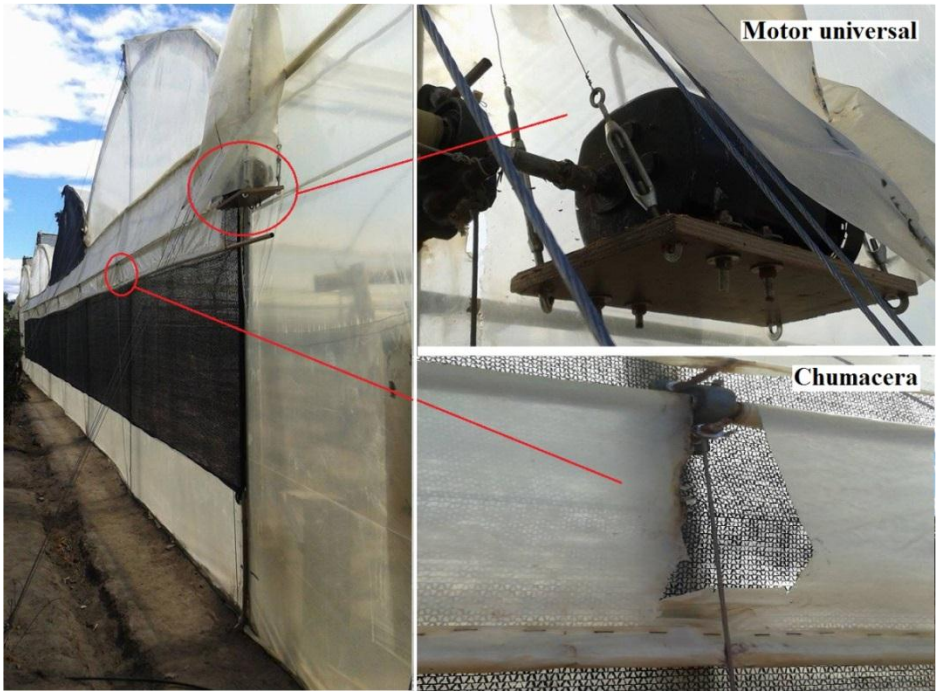


Figura 10. Fotos tomadas del sistema de chumaceras en el invernadero de cultivo de tomate rojo
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.6.2 Selección del número de sensores de temperatura

Para determinar el número de sensores de temperatura a utilizar se realizaron pruebas de campo con el medidor de temperatura MAXIMA MINIMA, Figura 9, el cual mide la temperatura ambiente.

Se colocará cinco termómetros dentro del invernadero como se muestra en el anexo 7 (a). De tal manera que se pueda tomar la temperatura diaria cada hora y así determinar mediante la toma de datos y gráficas el número de sensores a utilizar y su ubicación.

Una vez realizadas las pruebas de campo, toma de datos y análisis de gráficas como se observa en el anexo 9, se determinó que con el uso de un solo sensor de temperatura para este proyecto es suficiente el cual será ubicado en la posición 5 (P5).

2.7 Instrumentación del sistema de ventilación.

De acuerdo al estudio técnico realizado sobre la temperatura del cultivo de tomate rojo se consideró la necesidad de adquirir un sensor que cumpla con las siguientes características:

- Sea diseñado para cultivos de larga duración.
- Se adapte a las condiciones ambientales dentro del invernadero.
- Entregue valores a su salida de 4-20 mA o de 0-10 VDC.
- Requieran un mantenimiento mínimo.

2.7.1 Sensor de temperatura

Para la medición de la temperatura se consideró la compra de una PT-100 SITRANS TS 500, figura 11, que consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

PT-100 SITRANS TS 500

Figura 11. Foto del sensor de temperatura, Fuente: (SIEMENS AG, 2014)
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.7.2 Conexión de la PT-100

El método utilizado fue el de 4 hilos ya que este es el más preciso, los 4 cables pueden ser de cualquier calibre, pero el acondicionador es de mejore prestaciones, figura 12.

Conexión a 4 hilos de la PT-100

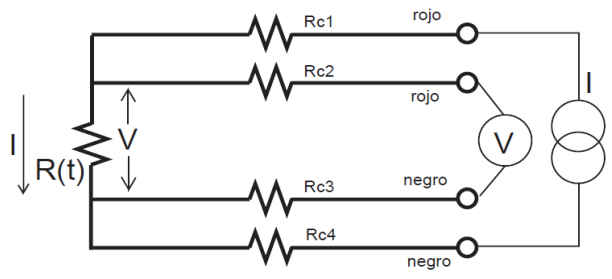


Figura 12. Diagrama de conexión a 4 hilos para termorresistencias, Fuente: (ARIAN Control & Instrumentación, 2014, pág. 3)

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

"Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de R(t) provocando una diferencia de potencial V en los extremos de R(t).

Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables Rc2 y Rc3 será cero (dV=Ic*Rc=0*Rc=0) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento R(t). Finalmente el instrumento obtiene R(t) al dividir V medido entre la corriente I conocida. " (ARIAN Control & Instrumentación, 2014, pág. 3)

2.7.3 Signal Board para RTD SB 1231V

La Signal Board (RTD) SB 1231, figura 13, es un acondicionador de señales para termorresistencias que facilita el montaje y la conexión directa entre la PT-100 SITRANS TS 500 y la CPU SIMATIC S7-1200.

RTD SB 1231V

Figura 13. Foto de la Signal Board para PLC Siemens

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.8 Tablero eléctrico

Un tablero eléctrico es una caja rectangular de láminas de acero que permite la distribución de los elementos de control, maniobra, protección y señalización.

En este proyecto se utilizará un tablero principal el cual está conectado a la red de distribución eléctrica, con sus respectivas protecciones y un tablero secundario el cual está conectado al tablero principal y se encargara de la protección y operación del sistema de riego.

Para una correcta instalación y puesta en marcha de los elementos de control, protección, sensores y actuadores es necesario tener diseñados previamente los diagramas de control y fuerza. Los mismos que pueden ser observados en el anexo 2.

2.8.1 Indicadores y pulsadores

La luz piloto de color verde y rojo, Figura 14, indica si el sistema se encuentra activado o desactivado respectivamente, permitiendo así solucionar problemas que se hayan ocasionado en la red eléctrica o en el proceso. Cuando el paro de emergencia se encuentra activado se enciende una luz roja indicando que el proceso sufrió un daño o existió un corte de energía, mientras que la luz verde indica que el proceso está en marcha o funcionando.

Los pulsadores, Figura 14, permiten maniobras de arranque o paro, al pulsar el botón verde este energiza todo el sistema a controlar, así como también paros de emergencia que al pulsar el botón (tipo hongo) este se quede enclavado, desactivando por completo el sistema para proceder a solucionar problemas que se hayan ocasionado en el proceso.

Pulsadores y Luces piloto

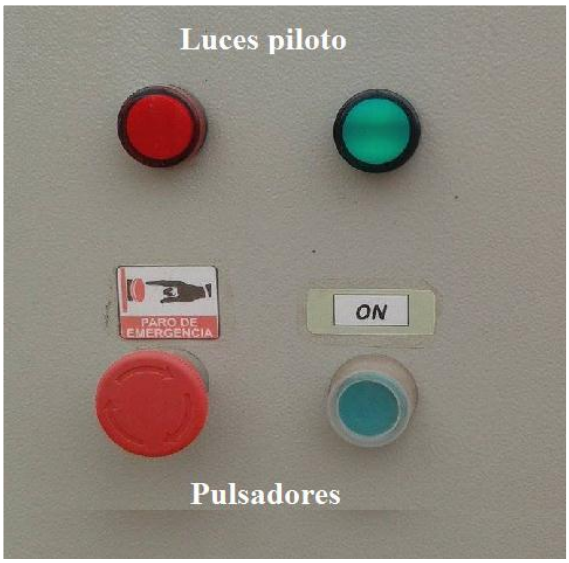


Figura 14. Foto de la distribución de luces piloto y pulsadores en el tablero principal
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.8.2 Ubicación del tablero eléctrico principal y secundario

Para una correcta ubicación de los tableros eléctricos se debe tener en cuenta un lugar de fácil acceso, para este proyecto se ubicó el tablero principal cerca de la puerta de ingreso al invernadero y el tablero secundario junto al reservorio de agua, ya que existe un espacio lo suficientemente amplio para realizar trabajos y operaciones de mantenimiento, como se observa en la figura 15.

Ubicación del tablero eléctrico principal y secundario

Figura 15. Foto de la ubicación del tablero principal y secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.9 Montaje del tablero de control

Con la ayuda del Layout de las Figuras 2 y 3 y las medidas de ancho y largo de los diferentes elementos que se colocaran en el tablero, Tablas 8, 9, 10 y 11, se procedió a la distribución y colocación de canaletas y riel DIM, como se observa en la Figura 16.

Distribución y colocación de canaletas y riel DIM

Figura 16. Foto de la distribución de canaletas y riel DIM en el tablero principal y secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para la colocación de luces piloto, pulsadores y paro de emergencia se realizó los orificios de acuerdo al diseño establecido, como se muestra en la Figura 17 y 18.

Colocación de luces piloto y pulsadores en el tablero principal

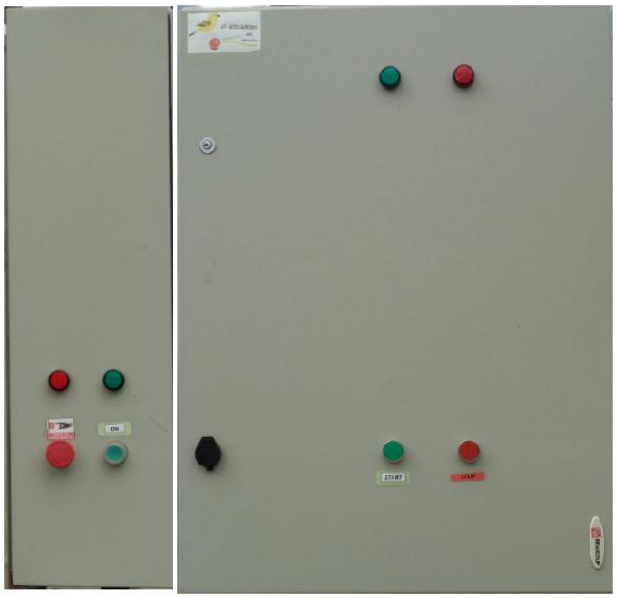


Figura 17. Foto de la colocación de luces piloto y pulsadores en el tablero principal

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Colocación de luces piloto en el tablero secundario

Figura 18. Foto de la colocación de luces piloto en el tablero secundario

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

2.10 Cableado y etiquetado

Una vez realizado el cálculo del calibre AWG y corriente para los elementos de potencia del invernadero, Tabla 6, se procedió con el montaje de elementos y posterior conexión de estos, guiándose en los diagramas eléctricos y de control, anexo 3. Para el etiquetado se adquirió una libreta de etiquetas para marcar cables con leyendas de la A-Z, 0-15,+,-, / y punteras para diferente calibre AWG, como se muestra en la Figura 19.

Cableado y etiquetado del tablero principal y secundario

Figura 19. Foto del cableado y etiquetado en color amarrillo

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

Realizado el estudio técnico de las condiciones para el desarrollo del cultivo de tomate rojo bajo invernadero, se decidió realizar un control mediante lógica difusa del sistema de riego y ventilación, para lo cual se usará el software TIA PORTAL para la programación del PLC simatic 1200, CPU 1214C (AC/DC/relé), anexo 11, este se adquirió en base al diseño del hardware.

3.1 Diseño del control fuzzy para el sistema de riego

Para el proceso de control fuzzy se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Definición de variables lingüísticas, tabla 17.

Tabla 17.

Variables lingüísticas

Entrada 1: Ciclo de cultivo (semanas)	Entrada 2: humedad (centibares)	Salida: Riego (cm^3)
Siembra	Muy húmedo	Nada
Desarrollo	Húmedo	1 electroválvula(1Ev)
Enflorecimiento	Normal	2 electroválvulas(2Ev)
Engrose	Seco	3 electroválvulas(3Ev)
Maduración	Muy seco	

Nota: Variables lingüísticas para el sistema de riego

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Planteamiento de entradas y salidas y sus respectivos conjuntos difusos

Entrada 1 sistema de riego

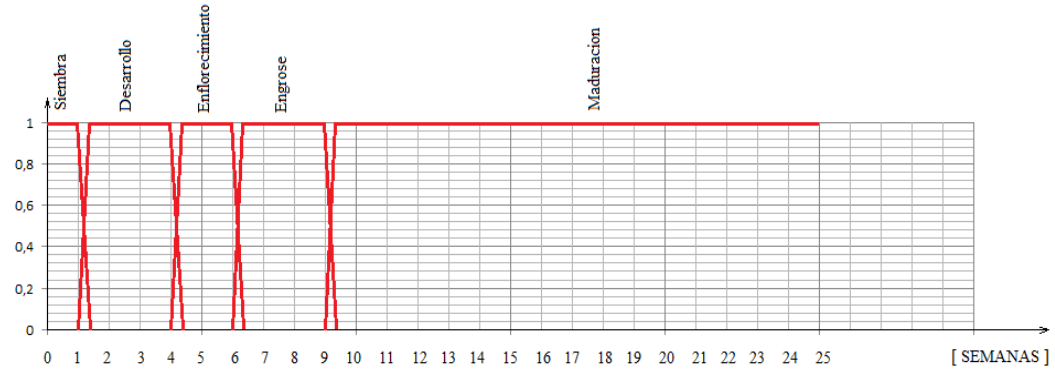


Figura 20. Conjuntos difusos del ciclo de cultivo

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Entrada 2 sistema de riego

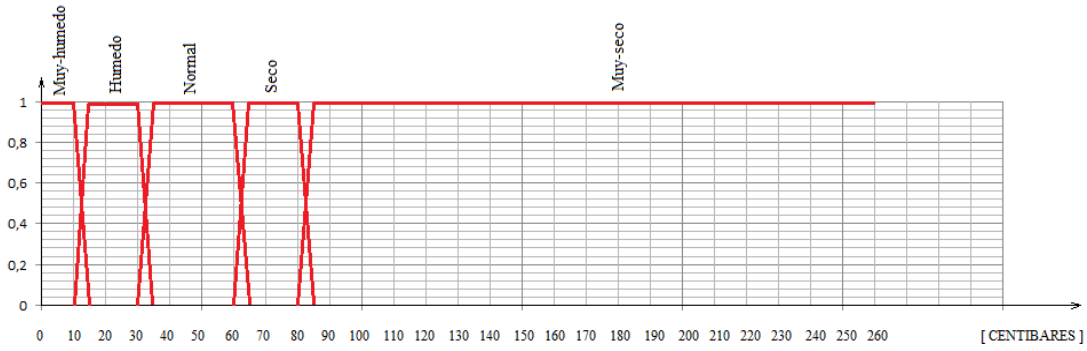


Figura 21. Conjuntos difusos de humedad

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Salida sistema de riego

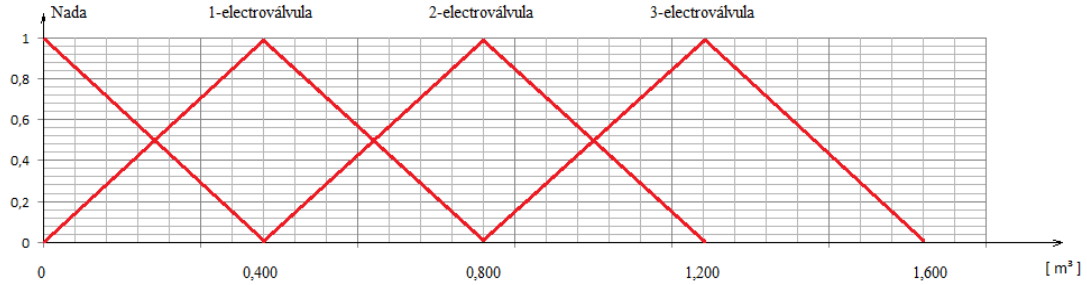


Figura 22. Conjuntos difusos elección del modo riego

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Función de membresía, anexo 12 (a)
- Construcción de base de reglas (FAM)

Tabla 18.

FAM del sistema de riego

Ciclo de cultivo / Humedad	Siembra	Desarrollo	Enflorecimiento	Engrose	Maduración
Muy húmedo	Nada	Nada	nada	nada	nada
Húmedo	Nada	Nada	nada	nada	nada
Normal	1Ev	1Ev	2Ev	2Ev	3 Ev
Seco	1Ev	2Ev	2Ev	3 Ev	3 Ev
Muy seco	2Ev	2Ev	3 Ev	3 Ev	3 Ev

Nota: Construcción de la base de reglas para el sistema de riego

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Reglas de inferencia, anexo 12 (b)
- Desfusificación

  La desfusificación se realizó por el método del centro de área ya que permite obtener una salida de control más suave.

3.2 Diseño del control fuzzy para el sistema de ventilación

Para el proceso de control fuzzy se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Definición de variables lingüísticas, tabla 18.

Tabla 19.

Variables lingüísticas

Entrada 1: Temperatura (° C)	Entrada 2: Hora Diaria (horas)	Salida: ventilación (movimiento de aire)
Frio	Alba	Cerrado
Fresco	Mañana	Cortina mitad
Moderado	Día	Cortina abierta
Cálido	Tarde	Ventiladores
Caluroso	Noche	

Nota: Variables lingüísticas del sistema de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Planteamiento de entradas y salidas y sus respectivos conjuntos difusos

Entrada 1 sistema de ventilación

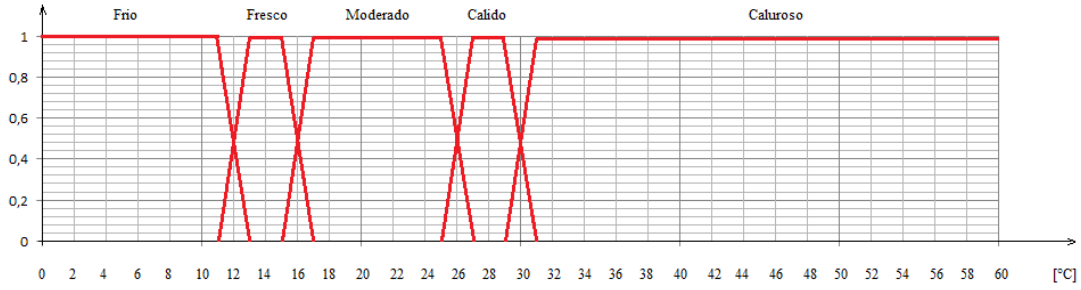


Figura 23. Conjuntos difusos de temperatura

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Entrada 2 sistema de ventilación

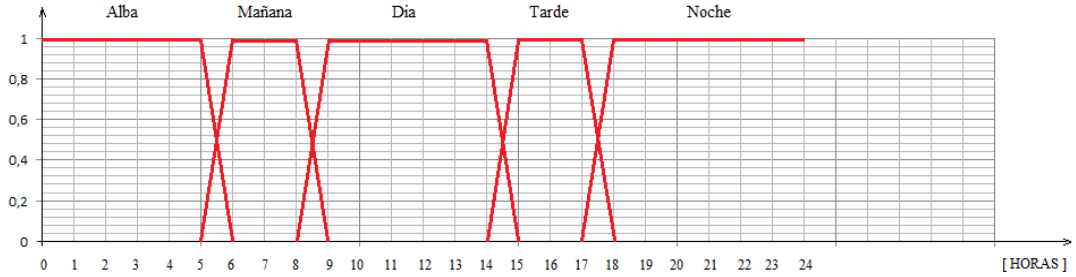


Figura 24. Conjuntos difusos de la hora diaria

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Salida del sistema de ventilación

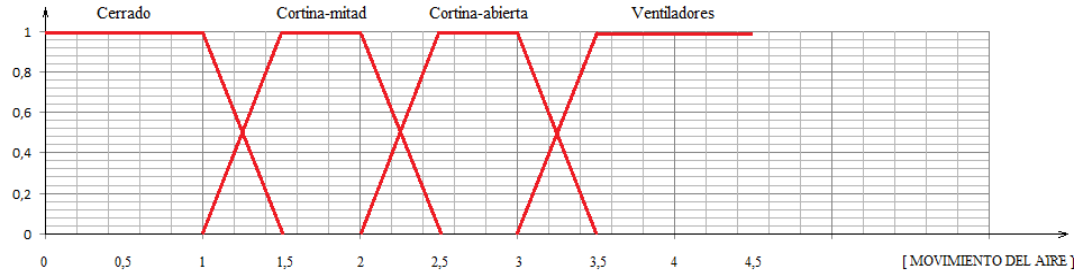


Figura 25. Conjuntos difusos del modo de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Función de membresía, anexo 13 (a)
- Construcción de base de reglas (FAM)

Tabla 20.

FAM del sistema de ventilación

Temperatura / Hora diaria	Frio	Fresco	Moderado	Cálido	Caluroso
Alba	cerrado	cerrado	cerrado	cortina mitad	cortina abierta
Mañana	cerrado	cerrado	cortina mitad	cortina abierta	Ventiladores
Día	cerrado	cortina mitad	cortina abierta	ventiladores	Ventiladores
Tarde	cerrado	cerrado	cortina mitad	cortina abierta	Ventiladores
Noche	cerrado	cerrado	cerrado	cortina mitad	cortina abierta

Nota: Construcción de la base de reglas para el sistema de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- Reglas de inferencia, anexo 13 (b)
- Desfusificación

  La desfusificación se realizó por el método del centro de área ya que permite obtener una salida de control más suave

3.3 Diagrama de flujo

De aquí en adelante se muestran los diagramas de flujo de la aplicación de un sistema acondicionador de variables para el cultivo de tomate bajo invernadero de lógica difusa que ayudaron en el entendimiento y diseño del control difuso del sistema de riego y ventilación.

3.3.1 Diagrama de flujo principal

El diagrama de flujo correspondiente al principal se observa en la Figura 26, en el cual se muestra la secuencia de puesta en marcha de todo el sistema.

Diagrama de flujo principal

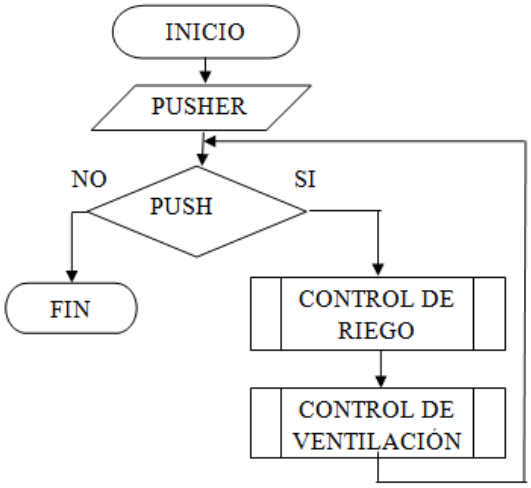


Figura 26. Secuencia de puesta en marcha de todo el sistema

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.3.2 Diagrama de flujo del controlador FUZZY

El diagrama de flujo correspondiente al controlador fuzzy se observa en la Figura 27.

Secuencia del controlador fuzzy

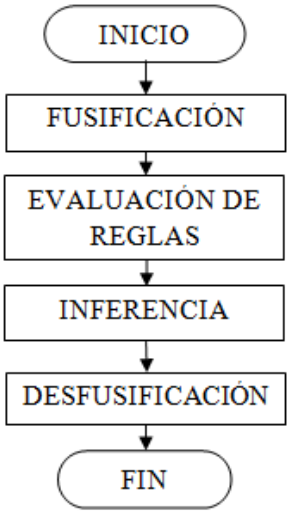


Figura 27. Pasos a seguir en un controlador difuso

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.3.3 Diagrama de flujo del CONTROL DE RIEGO

En la Figura 28 se observan los pasos a seguir del control de riego.

Diagrama de flujo del control de riego

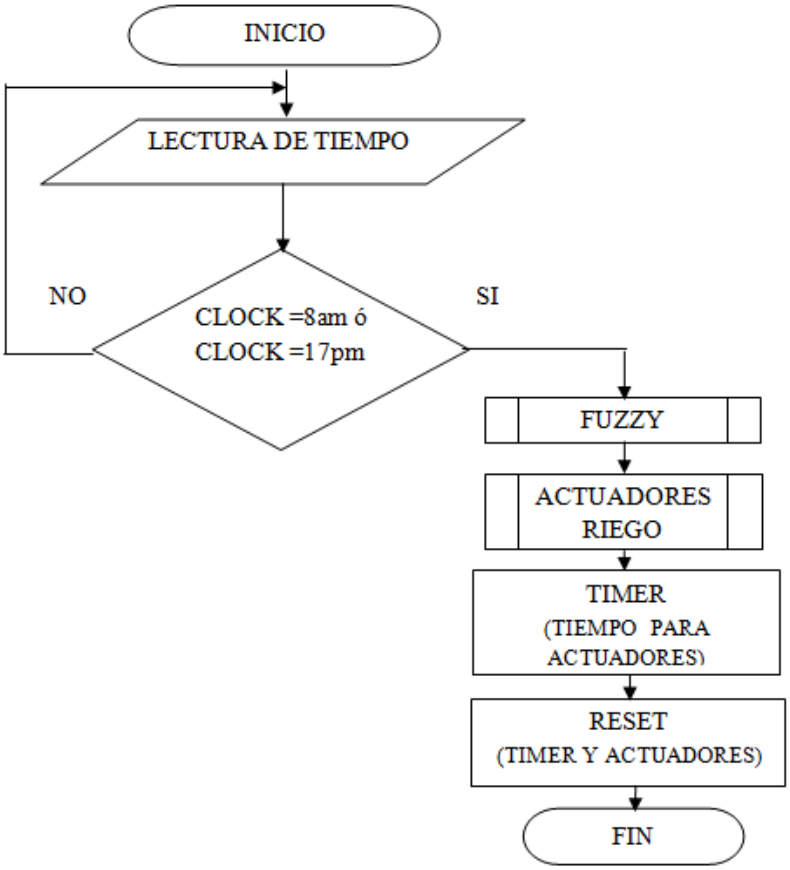


Figura 28. Pasos a seguir en la programación del control de riego

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.3.4 Diagrama de flujo del CONTROL DE VENTILACIÓN

En la Figura 29 se observan los pasos a seguir del control de ventilación.

Diagrama de flujo del sistema de ventilación

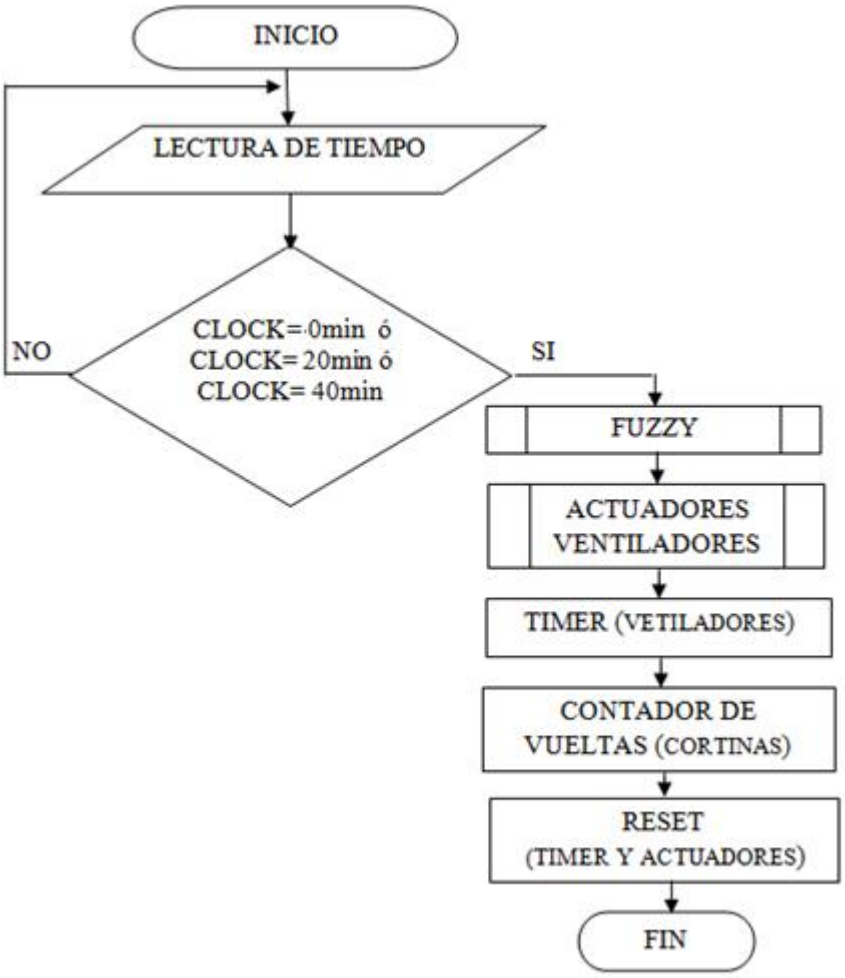


Figura 29. Pasos a seguir en la programación del control de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.3.5 Diagrama de flujo de los ACTUADORES DEL SISTEMA DE RIEGO

En la Figura 30 se observan los pasos a seguir para el control de los actuadores del sistema de riego.

Diagrama de los actuadores del riego

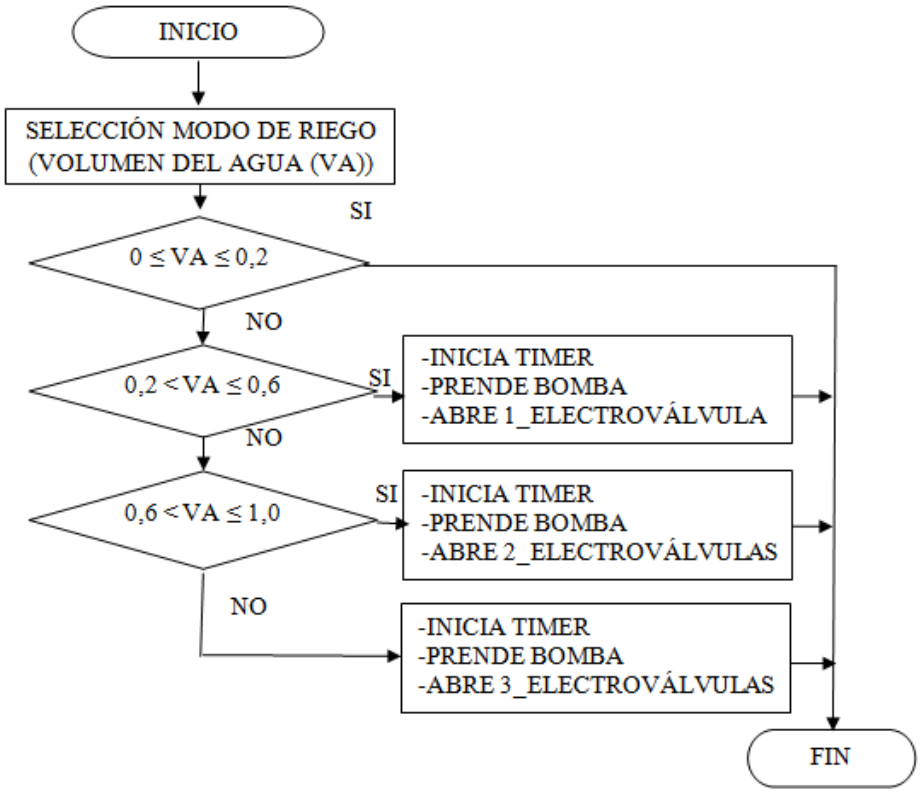


Figura 30. Pasos a seguir en la programación del control de los actuadores del sistema de riego.

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.3.6 Diagrama de flujo de los ACTUADORES DEL SISTEMA DE VENTILACION

En la Figura 31 se observan los pasos a seguir para el control de los actuadores del sistema de ventilación.

Diagrama de flujo del de los actuadores del sistema de ventilación

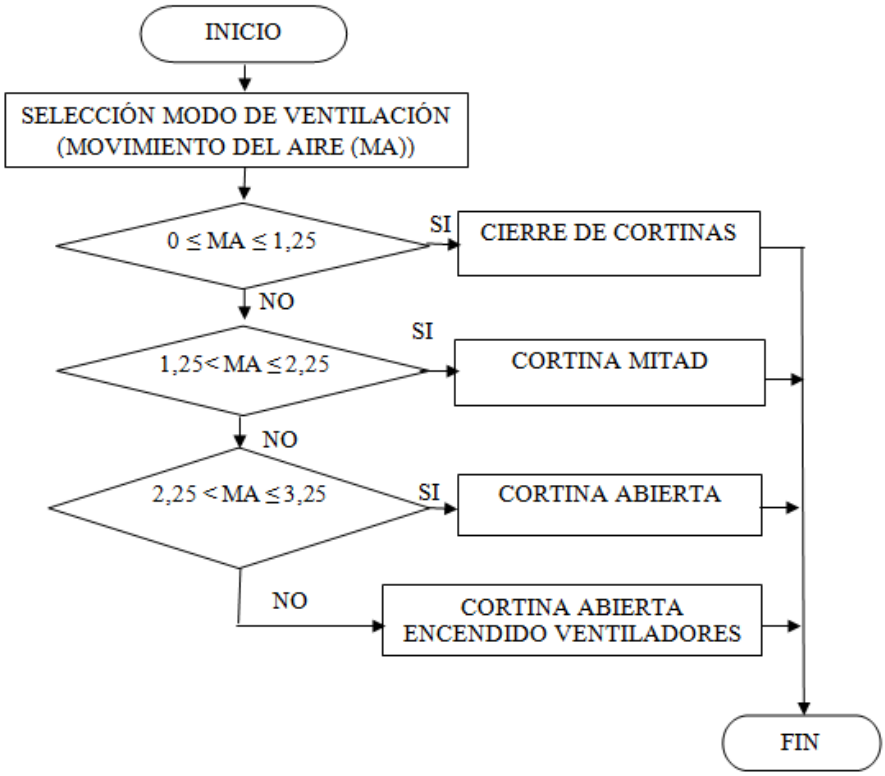


Figura 31. Pasos a seguir en la programación de los actuadores del sistema de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

3.4 Implementación del programa en TIA PORTAL

Visualización de la fecha y hora

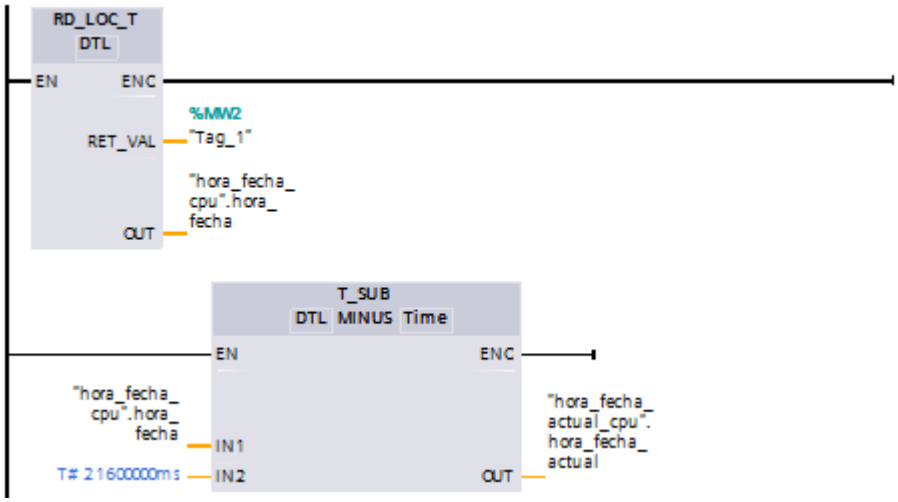


Figura 32. La figura muestra una forma de leer la hora actual del CPU

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para leer la hora local actual de la CPU se utilizó la instrucción avanzada RD_LOC_T, al encontrarse la hora establecida en el CPU con un adelanto de 6 horas se procedió a restar la mismas con la instrucción avanzada T_SUB que es un restador de tiempo. Como se muestra en las figura 32.

Escalamiento del sensor de temperatura (PT100)

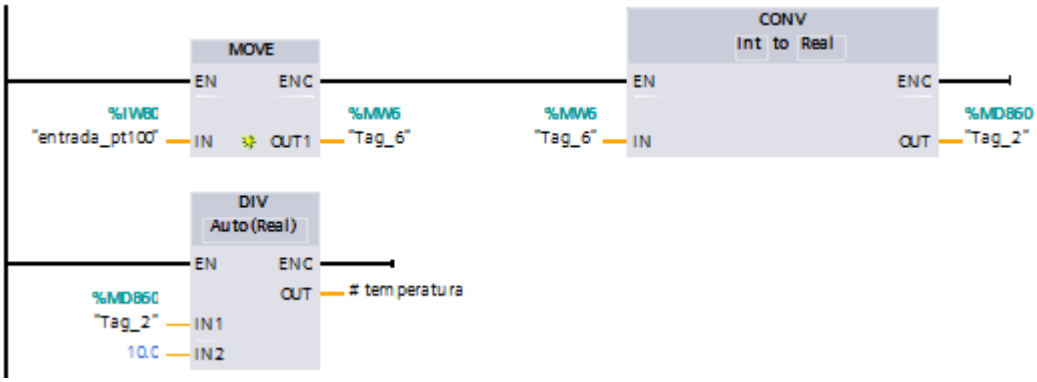


Figura 33. La figura muestra el escalamiento del sensor de temperatura

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para el escalamiento del sensor de temperatura se utilizó la instrucción básica MOVE que copia un valor en BOOL lo guarda y a la salida se obtiene un valor BOOL el cual con la ayuda de la instrucción básica CONVERT se convierte el valor entero de

la entrada a un valor real a la salida el cual va a ser dividido por 10 para escalar la temperatura dentro del invernadero. Como se muestra en las figura 33.

Escalamiento del sensor de humedad (WATERMARK)

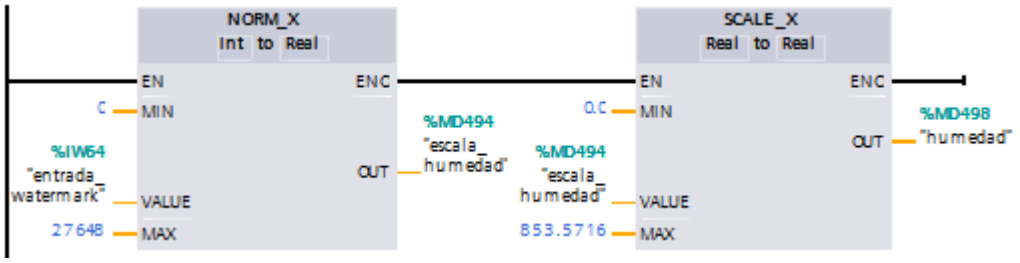


Figura 34. La figura muestra el escalamiento del sensor de humedad

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para el escalamiento del sensor de humedad se utilizó la instrucción básica NORM_X, la cual normaliza los valores definidos a la entrada para obtener valores reales en la salida, este valor normalizado con la ayuda de la instrucción básica SCALE_X se lo limita con el rango de valores definido por los parámetros MIN y MAX obteniendo a la salida la humedad del suelo. Como se muestra en las figura 34.

Ciclo de cultivo por días

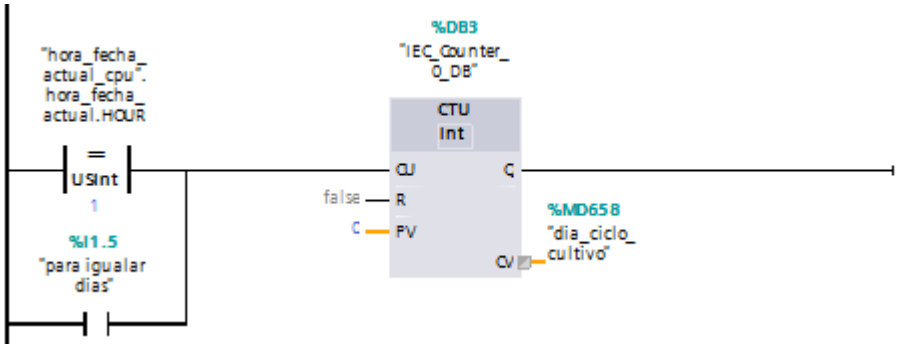


Figura 35. La figura muestra un contador para saber en qué día del ciclo de cultivo se encuentra

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para el cálculo del ciclo de cultivo por días se utilizó un contador ascendente CTU el cual recibe un pulso cuando el reloj de la CPU marca la 1am incrementando su valor. Como se muestra en las figura 35.

Cálculo de la variable lingüística del sensor de temperatura

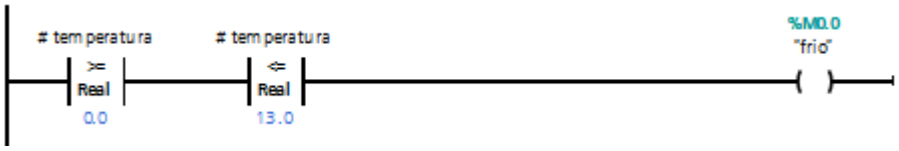


Figura 36. La figura muestra el rango de temperatura de la variable lingüística "frio"

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Se calculan todos los valores de las variables lingüísticas de acuerdo a las entradas y salidas de los conjuntos difusos tanto del sistema de ventilación y de riego. Como se muestra en las figura 36.

Cálculo de la función de membresía del sensor de temperatura

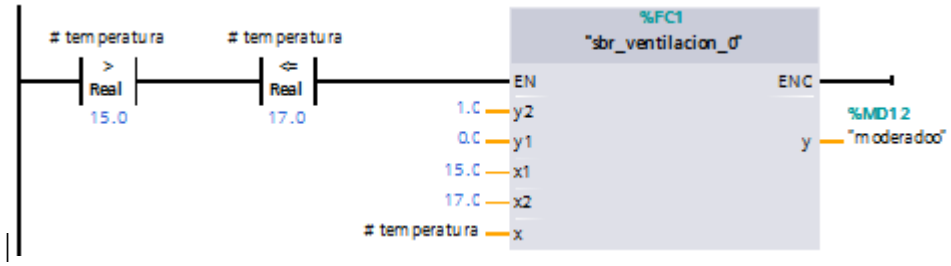


Figura 37. La figura muestra el cálculo de la función de membresia

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Se realiza el cálculo de todas las funciones de membresía de acuerdo a cada conjunto difuso tanto del sistema de ventilación como el de riego, con la ayuda de una subrutina 0 que calcula el valor de la pendiente de la recta. Como se muestra en las figura 37.

Cálculo de la FAM de la ventilación

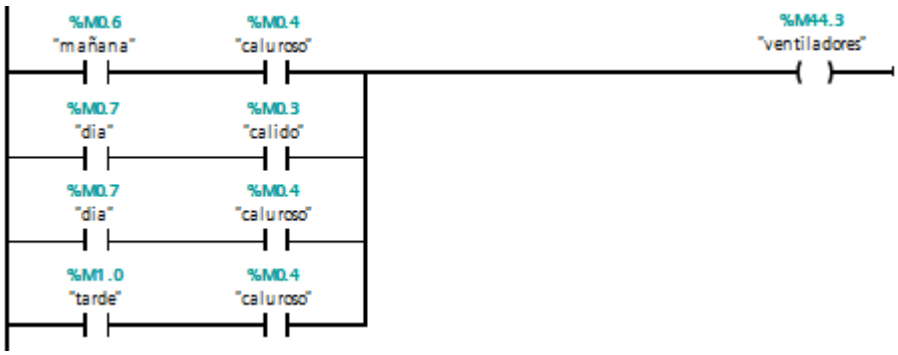


Figura 38. La figura muestra la FAM de los ventiladores

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Se combina las dos entradas ya sea del sistema de ventilación y de riego para obtener una salida de acuerdo a la FAM de cada variable. Como se muestra en las figura 38.

Cálculo de la inferencia

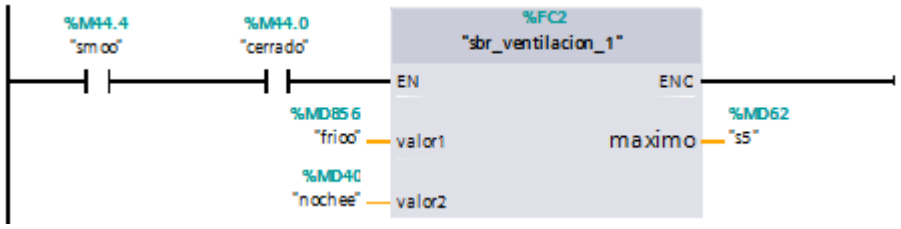


Figura 39. La figura muestra el cálculo de la inferencia por máximos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Al tener en las reglas el conector lógico OR como se observa en el anexo 12(b) y 13(b) se realizó la inferencia por el máximo. Como se observa en la figura 39.

Desfusificación

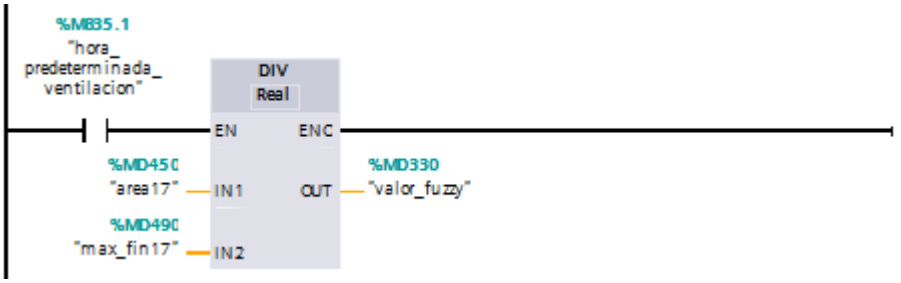


Figura 40. La figura muestra la desfusificación final del sistema de ventilación

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Para obtener la desfusificacion se realizó por medio del método "Centro de Área" el cual permite obtener una salida de control más suave.

Para este proyecto se utilizó la misma lógica en el controlador fuzzy tanto para el sistema de ventilación como el sistema de riego.

CAPÍTULO 4

ANALISIS Y RESULTADOS

4.1 Comprobación del funcionamiento del sistema de riego y ventilación

El sistema de riego y ventilación se lo expuso durante una semana laborable a un monitoreo exhaustivo obteniéndose las tablas mostradas en el anexo 14, que sirvió para detectar posibles errores y corregirlos, superado este período de pruebas y corregidos los errores, se observó en los días posteriores que el sistema no presentaba novedades.

4.2 Contraste entre la producción automatizada y tradicional

Para realizar este análisis se llevó un registro de datos semanal de la producción tanto automatizada como tradicional, y que se encuentra tabulado en el anexo 15.

Una vez con los datos y análisis de los mismos se obtuvo el total de producción medido en gavetas y el total de ingresos en dólares americanos. Como se observa en la figura 41, se tiene un incremento en los ingresos de $401 de la producción automatizada respecto de la tradicional.

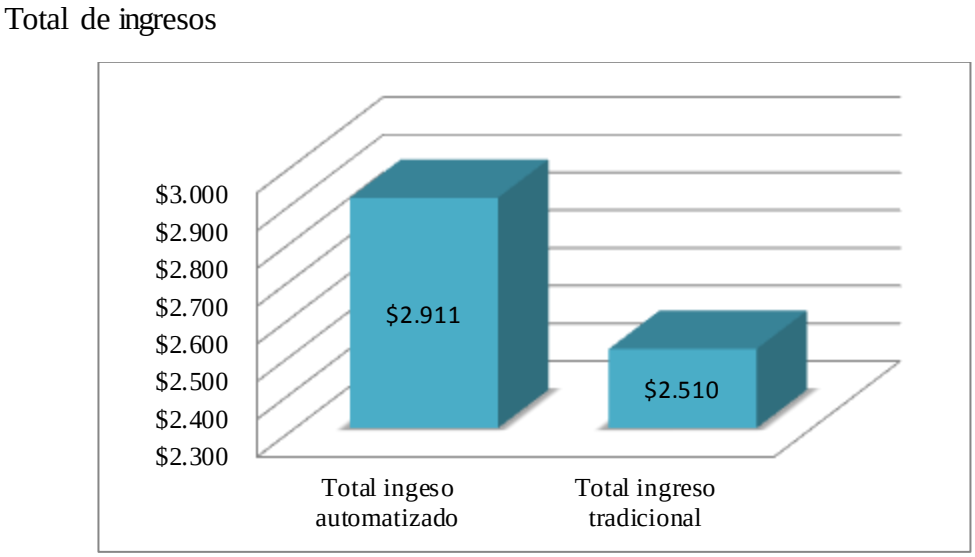


Figura 41. Total de ingresos de la producción automatizada y tradicional

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

4.3 Análisis de costos

- **Costos directos**

  Son el resultado de la materia prima y del proceso de su fabricación.

Tabla 21.

Costos directos (Parte 1)

Cantidad	Detalle	Valor Unitario ($)	Valor Total ($)
1	Filtro, tubería PVC, uniones, válvulas de control de presión, codos, pega, manguera, adaptadores, tee, universales, neplos.	135,37	135,37
1	Bomba de 2HP (110/220VAC)	140,50	140,50
1	Manguera de Goteo (300m)	38,00	38,00
3	Electroválvulas	33,21	99,63
1	Sensor WATERMARK	65,00	65,00
1	Adaptador de señal WATERMARK	95,00	95,00
1	Tuercas, Rodelas, Pernos	18,00	18,00
8	Chumaceras(par)	17,74	141,92
10	Tubo dorado cortina	7,50	75,00
1	Manómetro	14,50	14,50
1	Motor Elevavidrios	35,00	35,00
2	Motorreductores $220V_{AC}$	80,00	160,00
1	Signal Board 1231 (acondicionador)	167,00	167,00
1	PT-100 Siemens	168,00	168,00
2	Ventiladores fijos	33,00	66,00
2	Ventiladores giratorios	27,00	54,00
4	Cable flexible AWG # 14 V,B,R,N, rollo	35,00	140,00
4	Cable flexible AWG # 18 R,N,A, rollo	16,10	64,40
2,5	Cable solido AWG # 12 B,R,N, rollo	69,30	173,25
1	Cable concéntrico flexible 4x16(25m)	30,13	30,13
1	Manguera protectora (150m)	64,95	64,95
1	Gabinete o tablero 0.60x0.80x0.30 m	127,15	127,15
1	Gabinete o tablero 0.30x0.40x0.20 m	37,70	37,70
2	Canaleta ranurada de 0.04x0.25 m (1m)	4,00	8,00
2	Canaleta lisa de 0.02x0.25 m (1m)	1,25	2,50
		Subtotal 1	2121,00
		IVA 12%	254,52
		Total 1	**2375,52**

Nota: Tabla de los valores calculados para obtener los costos directos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 22.

Costos directos (Parte 2)

Cantidad	Detalle	Valor Unitario ($)	Valor Total ($)
1	CPU 1214 AC/DC/RY C120/220V_{AC} y Software TIA PORTAL	890,95	890,95
1	Fuente logo 24VDC 2,5A	99,00	99,00
1	Fuente de 12Vdc	15,75	15,75
1	Guardamotor de 5,5-8A	47,00	47,00
1	Contactor(bobina 220VAC)LC1-D0910	29,70	29,70
1	Contactor (bobina 220VAC)32A	82,30	82,30
15	Relé 24VDC	8,20	123,00
15	Base para Relé	4,05	60,75
1	Contactor (bobina 220VAC) 12A	28,25	28,25
1	Relé térmico 5,5-8A	44,40	44,40
1	Relé de 8pines 24V_{AC}	3,00	3,00
1	Base para relé (8pines)	1,70	1,70
1	Relé térmico 10 A	13,55	13,55
2	Fusibles	0,70	1,40
2	Porta fusibles tipo cartucho	1,50	3,00
6	Indicadores o luz piloto	1,30	7,80
4	Pulsadores a 220V_{AC}	1,42	5,68
1	Pulsador tipo hongo 220V_{AC}	2,70	2,70
2	Metros de riel DIM estándar	2,11	4,22
3	Terminales (100 unidades)	1,70	5,10
2	Terminales unión (50unidades)	1,80	3,60
100	Amarras	0,07	7,00
1	Libreta para etiquetar cables	12,25	12,25
10	Marcador para etiquetar (1 al 10)	1,35	13,50
2	Bornera y tapa bornera para tierra	0,75	1,50
5	Espirales	4,10	20,50
1	Varilla de cobre para tierra y conector	7,30	7,30
3	Repartidor de tensión de 4 vías	30,75	92,25
		Subtotal 2	1627,15
		IVA 12%	195,26
		Total 2	**1822,41**

Nota: Tabla de los valores calculados para obtener los costos directos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Tabla 23.

Total de costos directos

Suma de valores totales	Cantidad ($)
Total 1	2375,52
Total 2	1822,41
TOTAL COSTOS DIRECTOS	**4197,93**

Nota: Tabla para obtener la suma total de los costos directos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- **Costos indirectos**

  Son el resultado de la mano de obra, diseño e ingeniería.

Tabla 24.

Costos indirectos

Cantidad	Detalle	Valor Unitario ($)	Valor Total ($)
1	Punto de suelda	15	15
70	Diseño e ingeniería (horas)	15	1050
1	Transporte	100	100
		Total	**1165**

Nota: Tabla para obtener el valor de los costos indirectos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- **Costo total**

  Es la suma de los costos directos e indirectos

Tabla 25.

Costo total

Componente	Costo ($)
Costos directos	4197,93
Costos indirectos	1165,00
COSTO TOTAL	**5362,93**

Nota: Tabla de la suma total de los costos directos e indirectos

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

- **Flujo de caja**

Es el movimiento de ingresos y egresos de dinero en efectivo que refleja el estado de liquidez de una empresa.

Tabla 26.

Flujo de caja

	Inversión Inicial	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Recuperación (Inversión)	5362,93	4660,93	4081,73	2423,57	682,50	-1145,62
Inversiones			1000,00			
Total de ingresos		802,00	1684,20	1768,41	1856,83	1949,67
Total de egresos		100,00	105,00	110,25	115,76	121,55
Flujo de caja		702,00	579,20	1658,16	1741,07	1828,12

Nota: Tabla de los ingresos y egresos para 5 años

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Los datos para el flujo de caja de la tabla 26, se obtuvieron del incremento en los ingresos de $401 de la producción automatizada respecto de la tradicional, además se consideró una inversión al año siguiente de $1000 para automatizar la parte tradicional y de esta manera incrementar los ingresos.

- **Tasa de descuento**

"Tasa de descuento llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se los llama flujos descontados." (Baca Urbina, 2011, pág. 181)

Para el cálculo de la tasa de descuento se usará la ecuación (4.1):

$$Td = I + \left(\frac{Tp + Ta}{2}\right) \qquad \text{Ecuación (4.1)}$$

Dónde:

I: Inflación

Tp: Tasa pasiva

Ta: Tasa activa

Según datos actualizados al 2014 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) señalan que la tasa de inflación es de 3,2% y de acuerdo al Banco Central del Ecuador (BCE) la tasa activa y la tasa pasiva al 2014 es de 11,2% y 4,53% respectivamente, obteniéndose una tasa de descuento de 11.06% anual.

- **Valor Actual Neto (VAN)**

"Es el valor actual neto, este valor se obtiene de medir los flujos de caja futuros del proyecto que queremos poner en marcha o en el que queremos invertir, descontando la inversión inicial que necesitamos." (Toledo, 2015)

Para obtener el VAN se usará la ecuación (4.2):

$$VAN = -Io + \sum_{j=1}^{n} \frac{Fj}{(1+i)^j}$$ Ecuación (4.2)

Dónde:

Fj: Flujo neto de caja en el período j

Io: Inversión inicial

i: Tasa de descuento de la inversión

n: Horizonte de evaluación (número de años de la inversión)

- **Tasa Interna de Rendimiento (TIR)**

"La tasa interna de rendimiento o retorno, es la tasa de descuento por el cual el valor presente neto es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial". (Baca Urbina, 2011, pág. 216)

Para el cálculo de la (TIR) se usará la ecuación (4.3):

$$0 = -Io + \sum_{j=1}^{n} \frac{Fj}{(1+TIR)^j} = VAN$$ Ecuación (4.3)

Dónde:

Fj: Flujo neto en el Período j

Io:Inversión inicial en el Período 0

n: Horizonte de evaluación

- **Razón costo-beneficio**

Es la relación entre los beneficios actualizados respecto a los costos actualizados del proyecto. Si el resultado es mayor a uno el proyecto es viable ya que el beneficio será mayor que los costos.

Para el cálculo del costo-beneficio se usará la ecuación (4.4):

$$Costo - Beneficio = \frac{\sum Flujo\ de\ caja\ actualizado}{Inversion\ inicial} \qquad \text{Ecuación (4.4)}$$

$$Costo - Beneficio = \frac{6508{,}55}{5362{,}93} = 1{,}21 \qquad \text{Ecuación (4.5)}$$

- **Indicadores del proyecto**

Una vez obtenidos el VAN, TIR y el costo-beneficio, como se observa en la tabla 26, se puede decir que este proyecto es viable ya que el costo-beneficio es mayor a uno, como se muestra calculado en la ecuación (4.5), dando como resultado que por cada dólar invertido se obtendrá una ganancia de $0.21 a cada dólar de la inversión realizada.

Tabla 27.

Indicadores del proyecto

VAN	4582.77
TIR	6%
C/B	1,21

Nota: Tabla donde se muestra los valores calculados de los indicadores del proyecto

Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

CONCLUSIONES

- Con el diseño e implementación de un sistema de control automático para las variables críticas en el cultivo de tomate rojo bajo invernadero mediante lógica difusa, se determinó mediante el contraste de los indicadores de productividad cuantitativos, que existe un incremento de la producción automatizada medida en gavetas del 13,5% con relación a la producción tradicional lo que significa que un control automatizado no solo logra eliminar procesos manuales, sino también incrementar la producción.

- Con el estudio y análisis teórico de las condiciones para el desarrollo del cultivo de tomate rojo bajo invernadero, se definió los rangos tanto de humedad del suelo y temperatura ambiente, para diseñar el sistema de control mediante lógica difusa, ya que estos rangos son esenciales para mantener el desarrollo y el buen estado sanitario del cultivo.

- Al analizar los indicadores cuantitativos del total de ingresos en dólares americanos de la producción automatizada versus la tradicional, se determinó que la inversión del proyecto es recuperable a mediano plazo (4 años), porqué se obtuvo frutos de mayor calibre (tamaño) y un incremento de la producción en la cosecha.

- Al evaluar el sistema implementado en el cultivo de tomate rojo bajo invernadero, se verificó que un manejo dentro de los rangos de los factores micro climáticos inciden en el proceso de desarrollo de este cultivo, ya que la cosecha del área automatizada se adelantó una semana respecto de la tradicional.

- Al analizar los indicadores económicos VAN, TIR y el costo-beneficio del proyecto, se demostró que este proyecto es viable ya que el Valor Actual Neto (VAN > 0), la Taza Interna de Retorno (TIR= 6%) es mayor que la Tasa Pasiva (TP= 4,5%) y el índice de costo-beneficio es superior a uno, dando como resultado que por cada dólar invertido se obtendrá una ganancia de $0,21.

- Una vez analizados los datos de las pruebas de campo tanto para humedad de suelo y temperatura ambiente, se determinó que con un solo sensor para cada variable a controlar es suficiente, ya que los rangos de variación en toda el área de cultivo no superan el 4% de fluctuación.

- A pesar de los cambios climáticos que ocurren afuera del invernadero del cultivo de tomate rojo, este obtuvo un favorable desarrollo por lo cual se puede asegurar que este proyecto es conveniente y viable para el sector agrícola, ya que si existe necesidad de riego o ventilación el control automatizado lo hará de forma autónoma.

RECOMENDACIONES

- Para garantizar el correcto funcionamiento de cortinas se debe realizar un mantenimiento periódico (6 meses) a las chumaceras y motorreductores ya que estas al estar en contacto con el medio ambiente tienden a oxidarse.

- Verificar que las conexiones eléctricas del PLC con los elementos de control y protección sean correctas para evitar daños a los equipos.

- Antes de poner el sistema de riego en funcionamiento se debe verificar que el reservorio se encuentre lleno de agua porque la electrobomba no puede permanecer encendida al vacío por períodos mayores a una hora ya que esta se daña.

- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo antes del inicio de un nuevo ciclo de cultivo para verificar que todo el sistema funcione correctamente.

- Realizar mantenimientos preventivos del PLC al finalizar cada ciclo de cultivo (6 meses) para evitar fallas por el mal funcionamiento, debido a que el equipo está expuesto a la adversidad del clima que existe dentro del invernadero.

- Se debe realizar la limpieza del filtro del sistema de riego para que no exista una pérdida de presión por el taponamiento de este, tres veces por semana.

- Se debe realizar una limpieza de la cubierta plástica del invernadero, para evitar la acumulación de polvo, y así obtener una mejor luminosidad dentro de este, cada 6 meses.

LISTA DE REFERENCIAS

ARIAN Control & Instrumentación. (2014). *www.arian.cl*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2014, de http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf

Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar (AAIC). (2003). *El cultivo de tomate riñón en invernadero(Lycopersicon esculentum)*. (M. Caguana, B. Quindi, & E. Robayo, Edits.) Quito, Pichincha, Ecuador: ABYA YALA. Recuperado el 12 de Octubre de 2014

Baca Urbina, G. (2011). *Evaluación de proyectos* (Cuarta ed.). (McGRAW-HILL, Ed.) Mexico, DF, Mexico: Interamericana editores,S.A de C.V. Recuperado el 18 de Mayo de 2015

Bantle, A., Cabrera, S., Carrillo, D., & Martinelli, E. (12 de 2011). *Revista agromensajes de la facultad*. Recuperado el 6 de Octubre de 2014, de http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/32/8AM32.html

BERMAD. (2014). *www.bermad.com*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2014, de http://fidemar.com.uy/catalogos/bermad/bermad_irrigacion.pdf

Copersa. (2014). *Irrometer Watermark*. Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de http://www.copersa.com/download/cpr_product/182/1477/85147995/3334730/cms/folleto+watermark.pdf/

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpaica. (2013). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. Bogotá, D.C., Colombia: Produmedios. Recuperado el 10 de Octubre de 2014

Lozano Gutiérrez, C., & Fuentes Martín, F. (2003). *eumed.net*. Recuperado el 22 de Octubre de 2014, de http://www.eumed.net/cursecon/libreria/clg-ffm/index.htm

Martinez del Brío, B., & Sanz Molina. (2007). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos* (Tercera ed.). Alfaomega. Recuperado el 24 de Octubre de 2014

Oceano, G. (2007). *Enciclopedia práctica de la Agricultura y Ganaderia*. Barcelona, España: Océano. Recuperado el 15 de Octubre de 2014

Ramirez Ramos, O. (12 de 6 de 2008). *Colección de tesis digitales Universidad de las Americas Puebla*. Recuperado el 26 de Octubre de 2014, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf

SIEMENS. (Noviembre de 2009). *www.siemens.com*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCkQFjAAahUKEwjWiaP56P7GAhWJeD4KHeqUDUw&url=http%3A%2F%2Fw5.siemens.com%2Fspain%2Fweb%2Fes%2Findustry%2Fautomatizacion%2Fsimatic%2FDocuments%2FS71200-MANUAL%2520DEL%252

SIEMENS AG. (2014). *www.siemens.com*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2014, de http://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap02.pdf

SIEMENS SA. (2014). *www.siemens.com*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/SIMATICS71500/Documents/150216%20SC%20TIA%20Portal%20SIMATIC%20S71500%20-%20Documentacion.pdf

Toledo. (2015). *www.abc.es*. Recuperado el 22 de Mayo de 2015, de http://www.abc.es/toledo/20130218/abcp--20130218.html

ANEXOS

Anexo 1. Valores normalizados de cables AWG

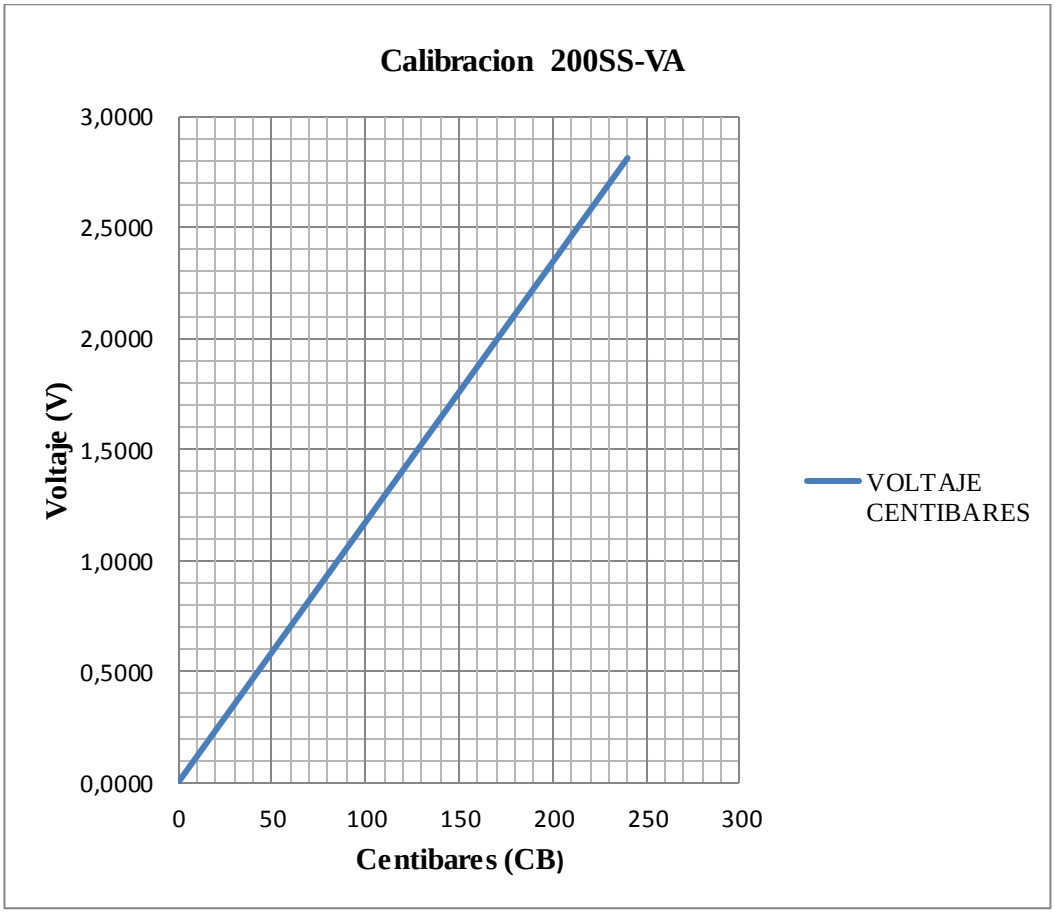
Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm2)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15

Anexo 2. Calibración del acondicionador 200SS-VA

Centibares (CB)	Voltaje (V)
0	0,0000
10	0,1172
20	0,2343
30	0,3515
40	0,4686
50	0,5858
60	0,7029
70	0,8201
80	0,9372
90	1,0544
100	1,1715
120	1,4059
130	1,5230
140	1,6402
150	1,7573
160	1,8745
170	1,9916
180	2,1088
190	2,2259
200	2,3431
210	2,4603
220	2,5774
230	2,6946
240	2,8117

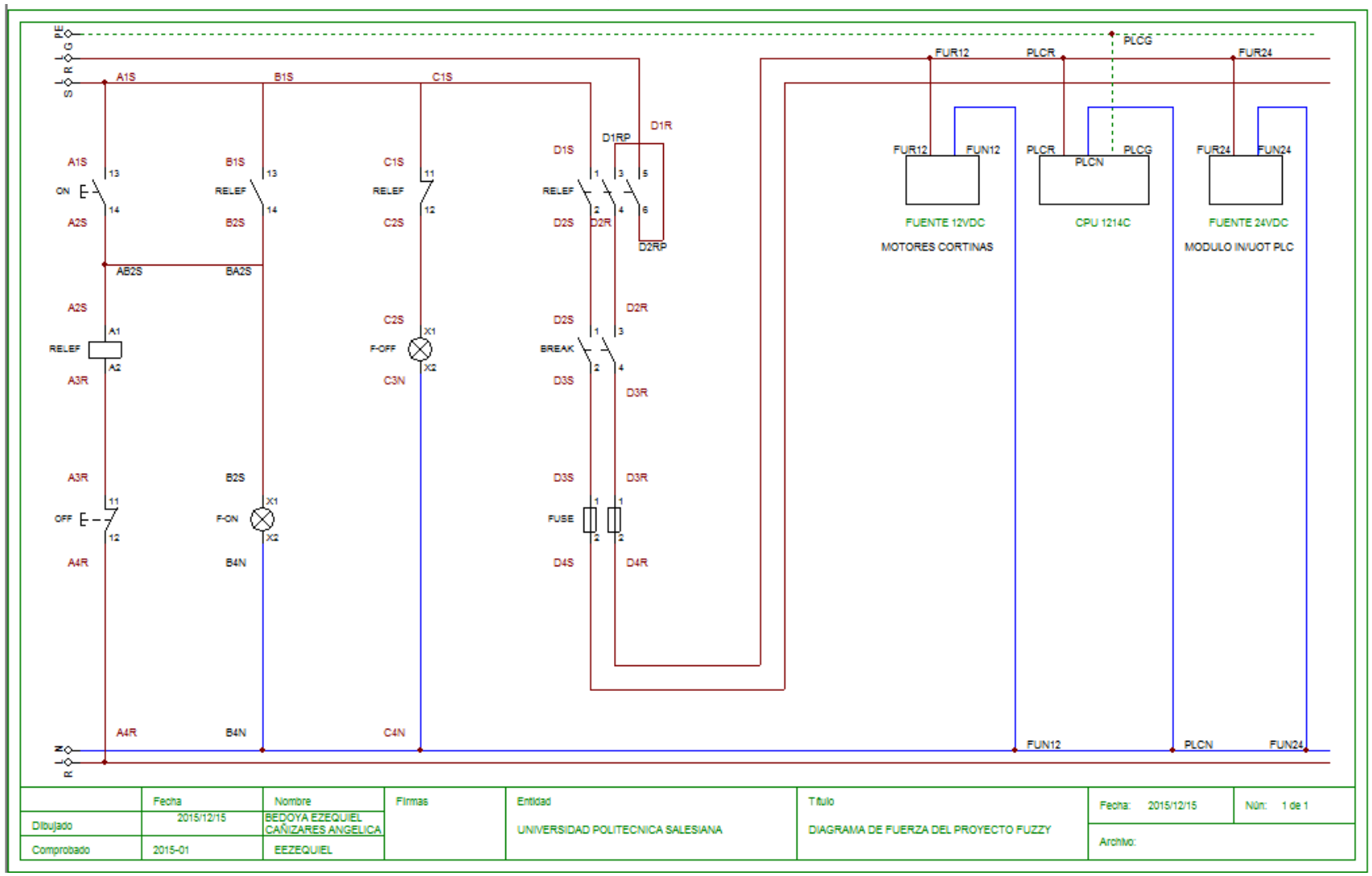
Fuente: Folleto Watermark, 2014.

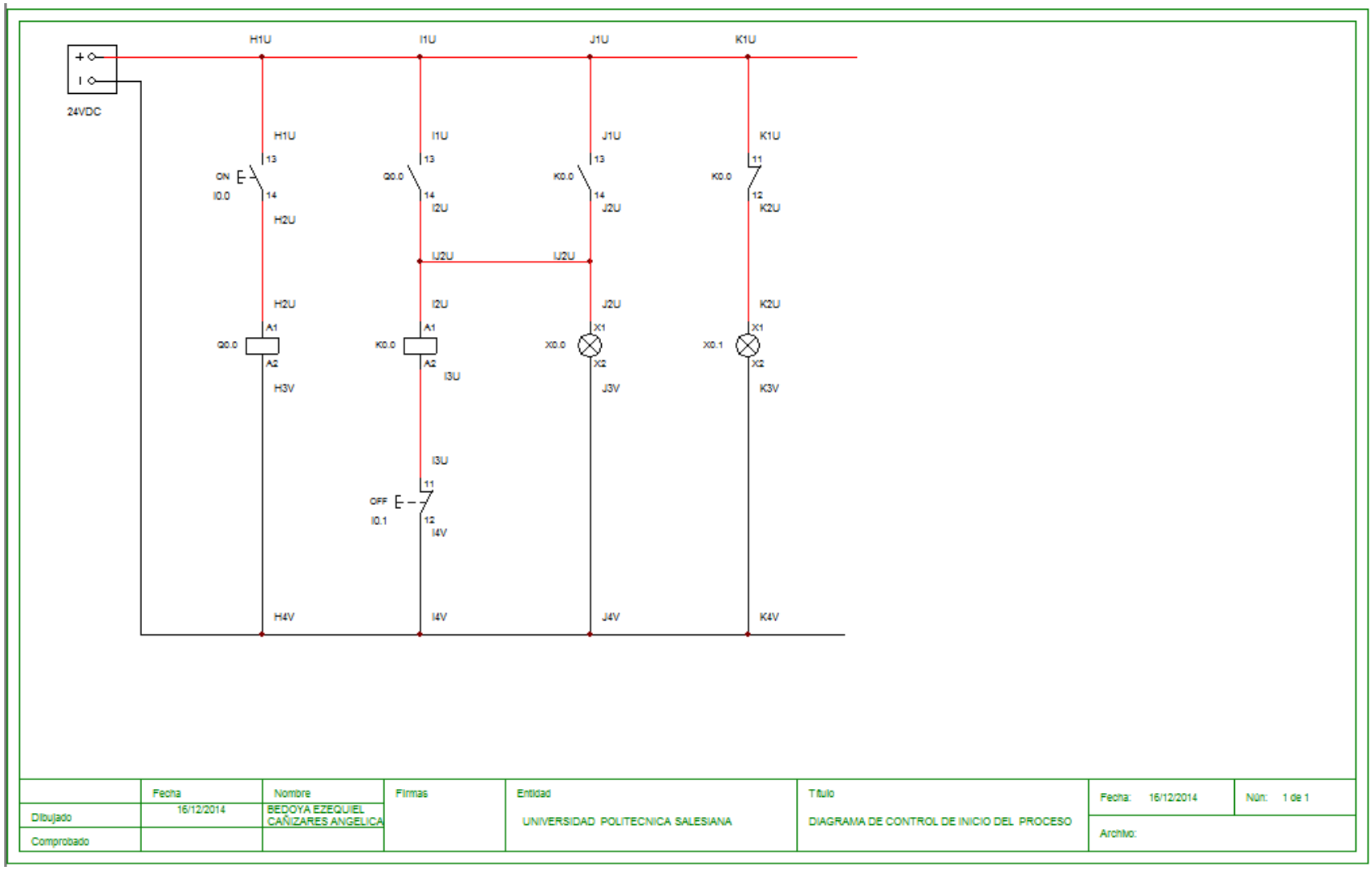
Figura N°6 Voltaje vs Centibares



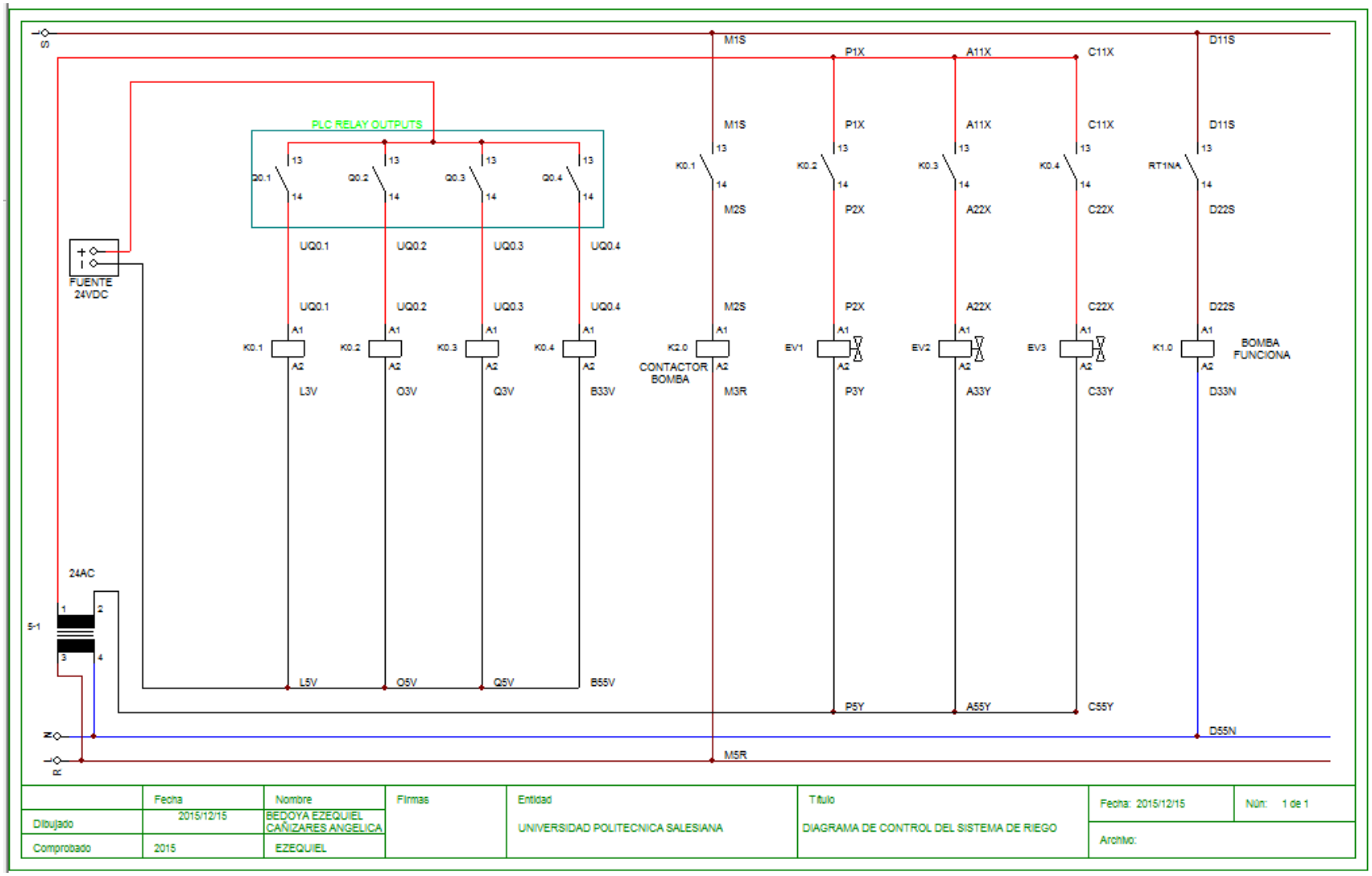
Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

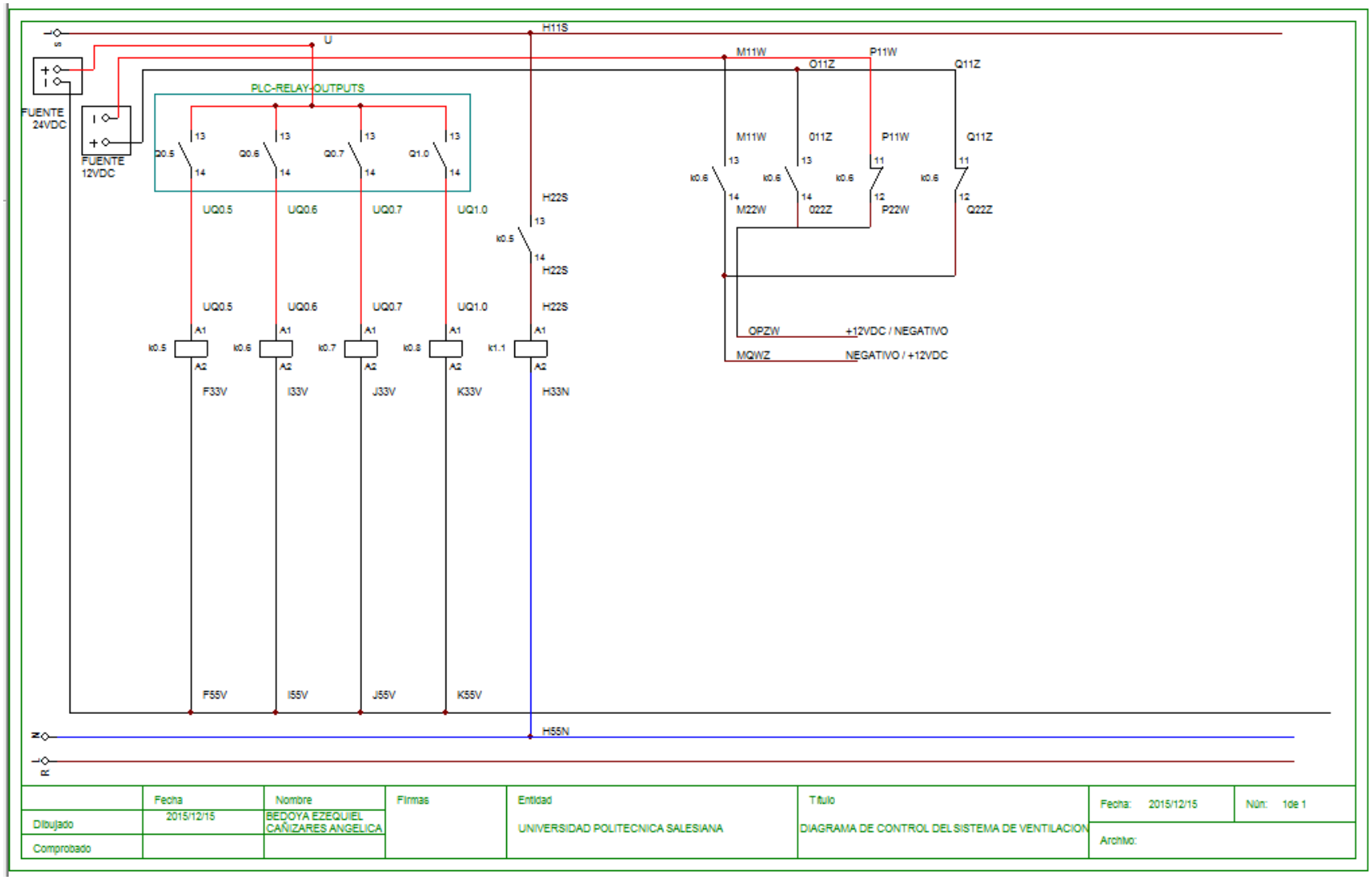
Anexo 3. Diagramas de fuerza y de control

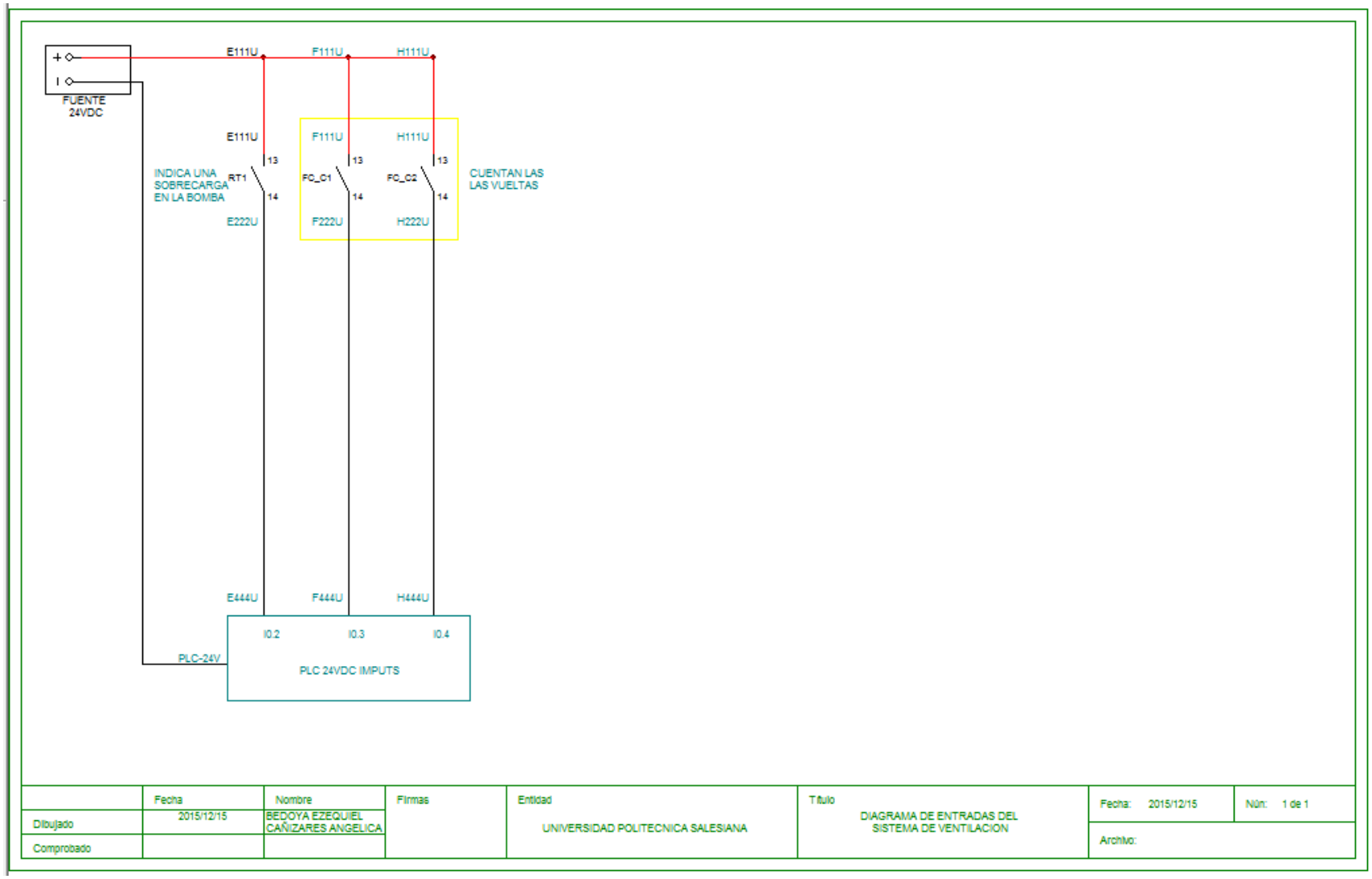


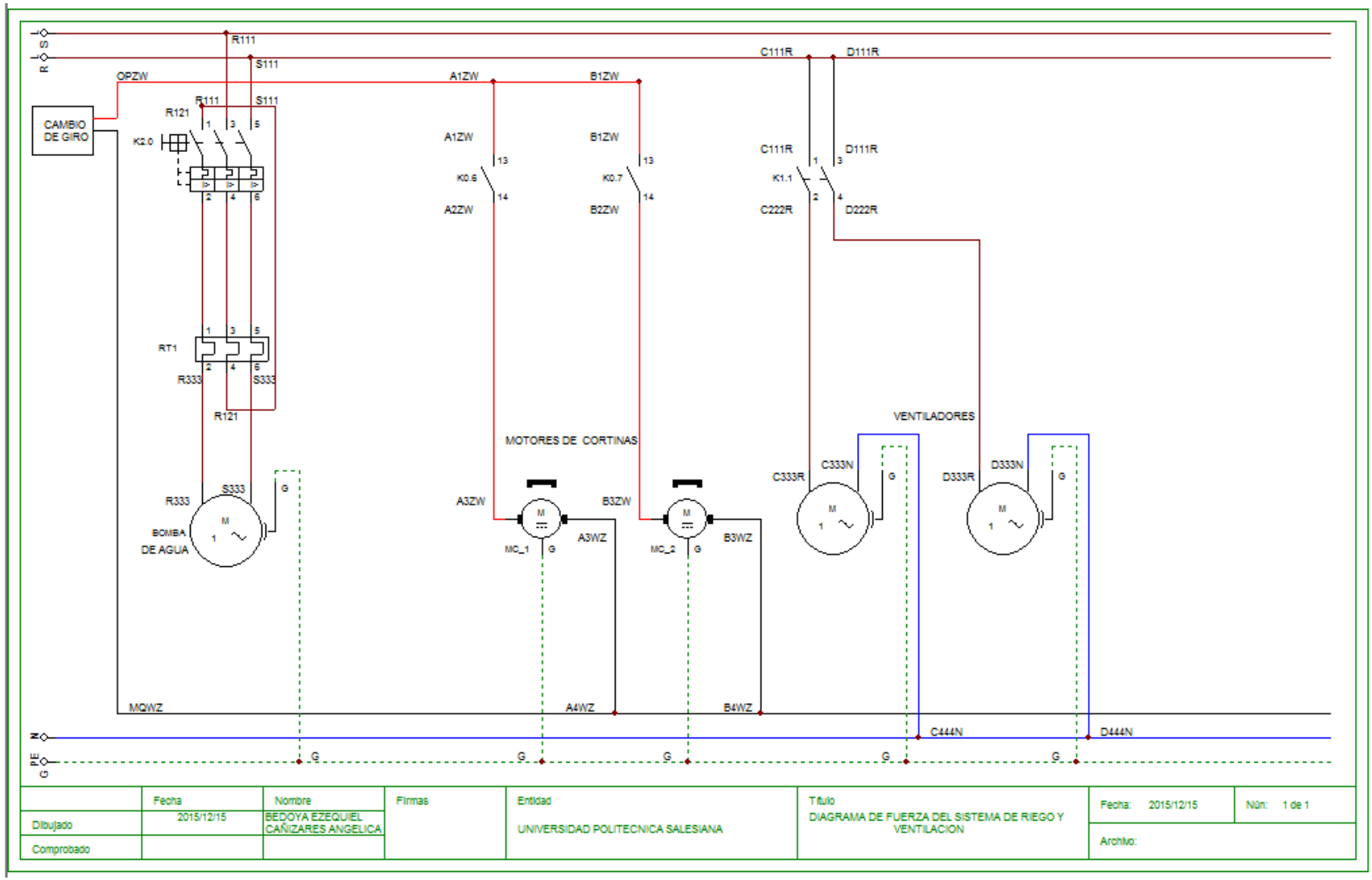


	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 16/12/2014	Núm: 1 de 1
Dibujado	16/12/2014	BEDOYA EZEQUIEL CAÑIZARES ANGELICA		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	DIAGRAMA DE CONTROL DE INICIO DEL PROCESO	Archivo:	
Comprobado							


PLC RELAY OUTPUTS
FUENTE 24VDC
24AC
CONTACTOR BOMBA
BOMBA FUNCIONA
M1S
P1X
A11X
C11X
D11S
M2S
P2X
A22X
C22X
D22S
M3R
P3Y
A33Y
C33Y
D33N
P5Y
A55Y
C55Y
D55N
M5R
UQ0.1
UQ0.2
UQ0.3
UQ0.4
L3V
O3V
Q3V
B33V
L5V
O5V
Q5V
B55V
Q0.1
Q0.2
Q0.3
Q0.4
K0.1
K0.2
K0.3
K0.4
K2.0
K1.0
EV1
EV2
EV3
RT1NA
Fecha
Nombre
Firmas
Entidad
Título
Dibujado
2015/12/15
BEDOYA EZEQUIEL
CAÑIZARES ANGELICA
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE RIEGO
Fecha: 2015/12/15
Núm: 1 de 1
Comprobado
2015
EZEQUIEL
Archivo:


H11S
U
M11W
O11Z
P11W
Q11Z
FUENTE 24VDC
FUENTE 12VDC
PLC-RELAY-OUTPUTS
Q0.5
Q0.6
Q0.7
Q1.0
UQ0.5
UQ0.6
UQ0.7
UQ1.0
H22S
k0.5
k0.6
k0.7
k0.8
k1.1
A1
A2
F33V
I33V
J33V
K33V
H33N
M22W
O22Z
P22W
Q22Z
OPZW
+12VDC / NEGATIVO
MQWZ
NEGATIVO / +12VDC
F55V
I55V
J55V
K55V
H55N
Fecha
Nombre
Firmas
Entidad
Título
Dibujado
2015/12/15
BEDOYA EZEQUIEL
CAÑIZARES ANGELICA
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA DE VENTILACION
Comprobado
Fecha: 2015/12/15
Núm: 1de 1
Archivo:

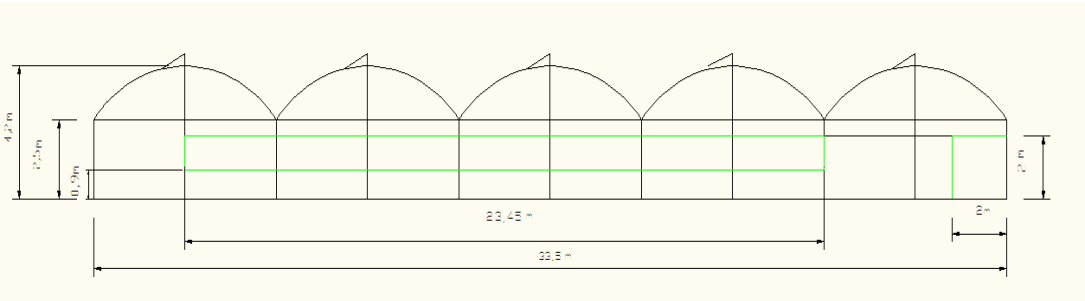

FUENTE
24VDC
E111U
F111U
H111U
INDICA UNA
SOBRECARGA
EN LA BOMBA
RT1
FC_C1
FC_C2
CUENTAN LAS
LAS VUELTAS
13
14
E222U
F222U
H222U
E444U
F444U
H444U
I0.2
I0.3
I0.4
PLC-24V
PLC 24VDC IMPUTS
Fecha
Nombre
Firmas
Entidad
Título
Dibujado
2015/12/15
BEDOYA EZEQUIEL
CAÑIZARES ANGELICA
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
DIAGRAMA DE ENTRADAS DEL
SISTEMA DE VENTILACION
Fecha: 2015/12/15
Núm: 1 de 1
Comprobado
Archivo:



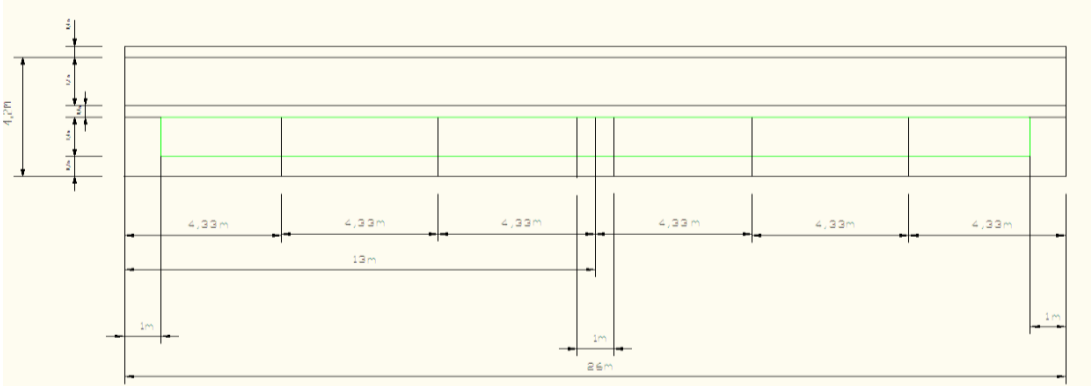
	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 2015/12/15	Núm: 1 de 1
Dibujado	2015/12/15	BEDOYA EZEQUIEL CAÑIZARES ANGELICA		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	DIAGRAMA DE FUERZA DEL SISTEMA DE RIEGO Y VENTILACION	Archivo:	
Comprobado							

Anexo 4. Dimensionamiento del invernadero

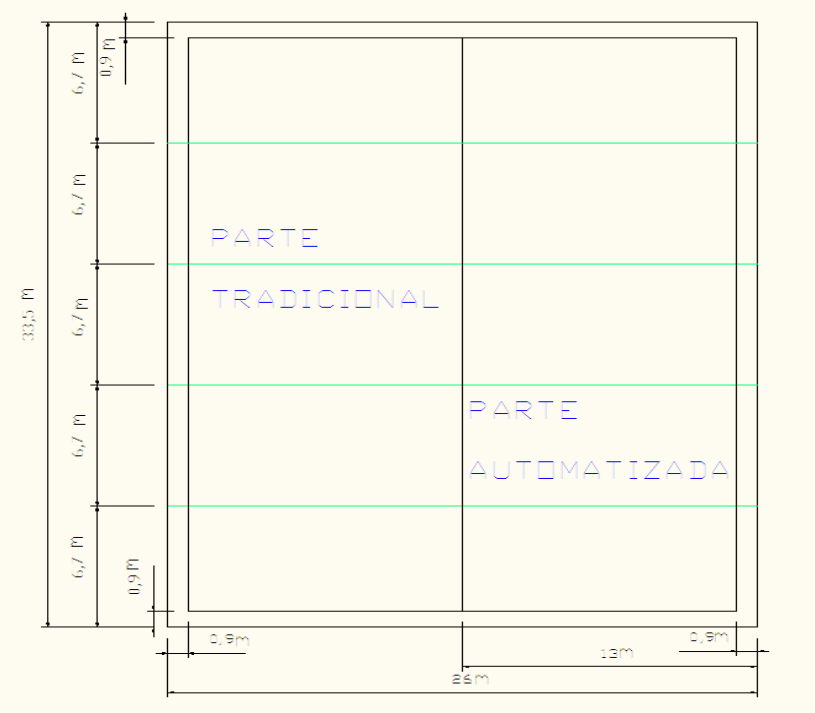
Vista Frontal



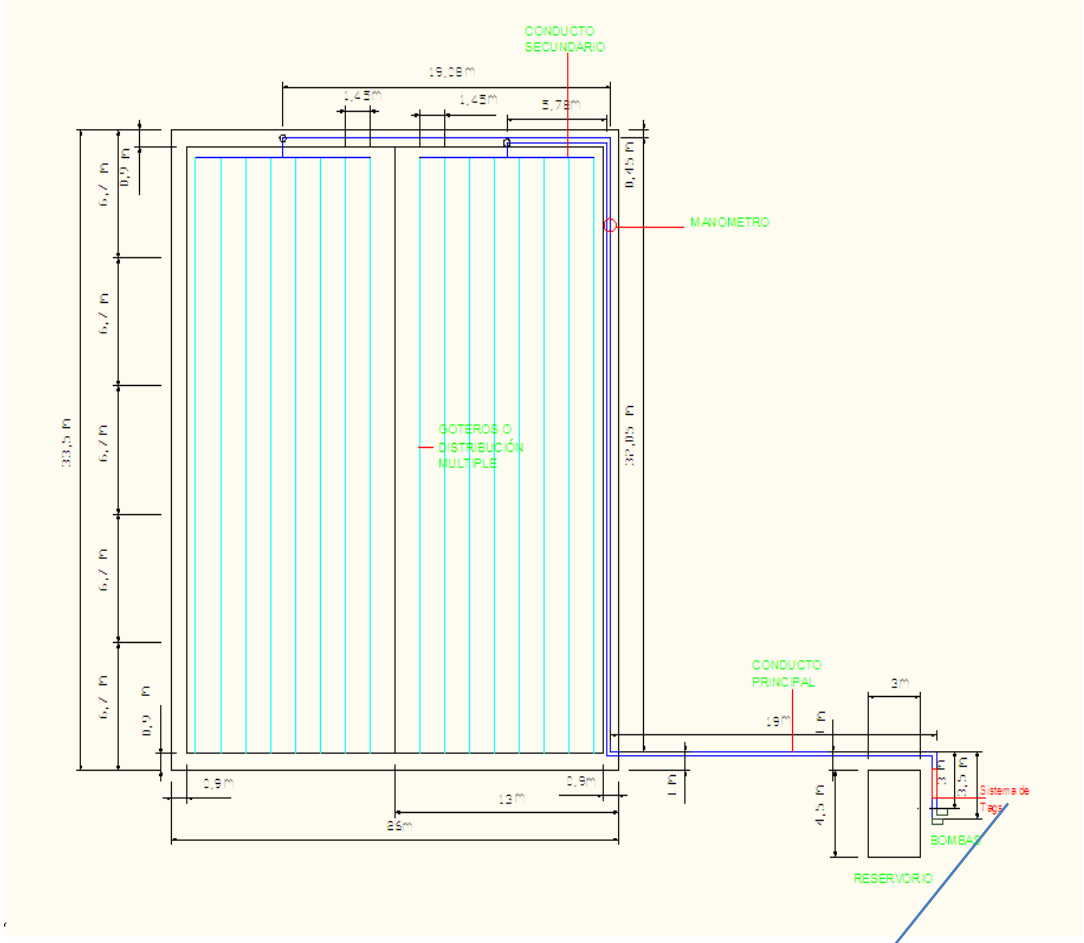
Vista Lateral

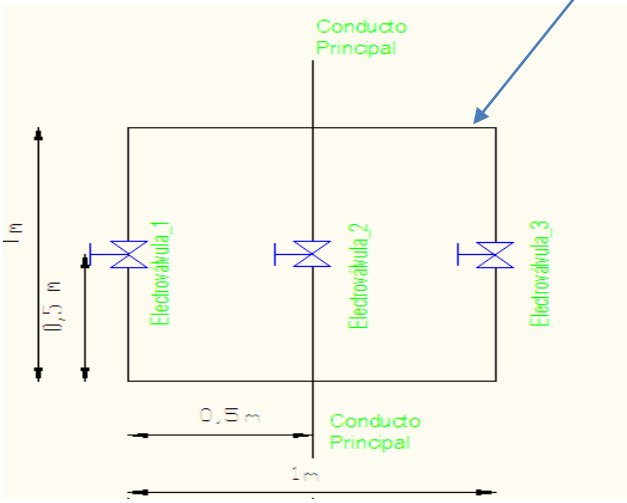


Vista Superior



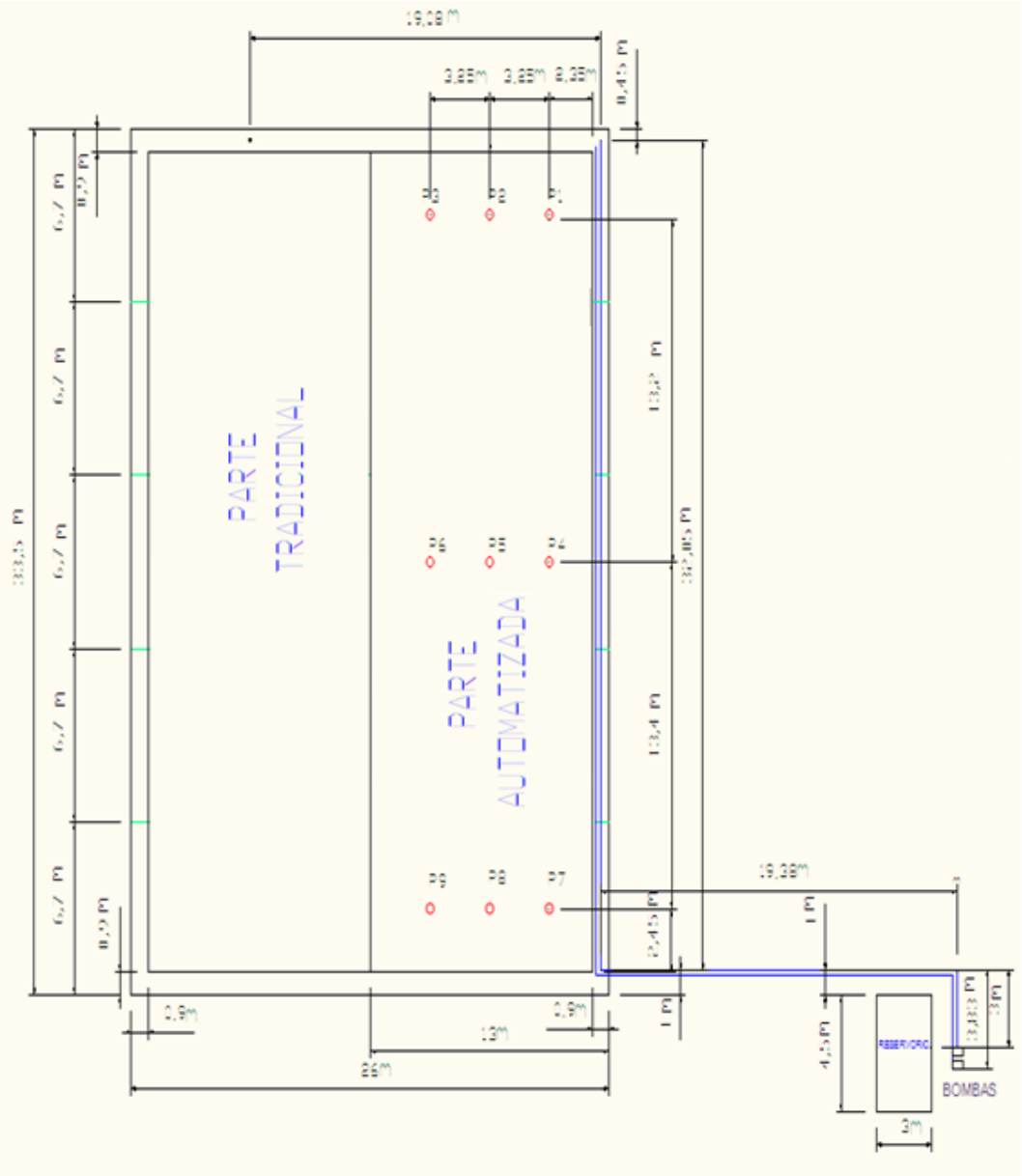
Anexo 5. Sistema de riego.





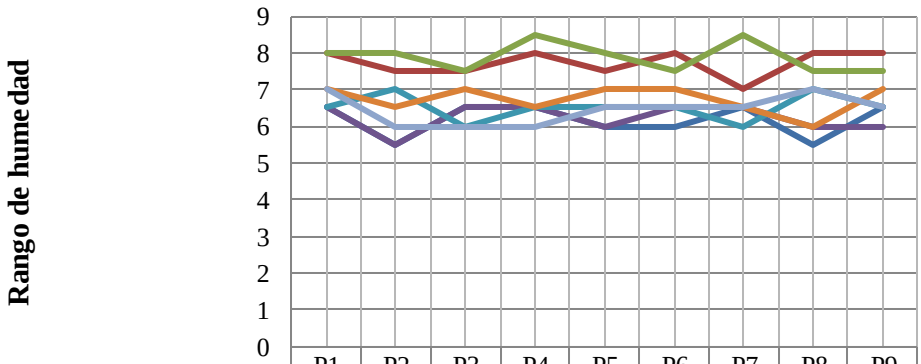
Anexo 6. Humedad diaria

a) Ubicación de los medidores de humedad dentro del invernadero.



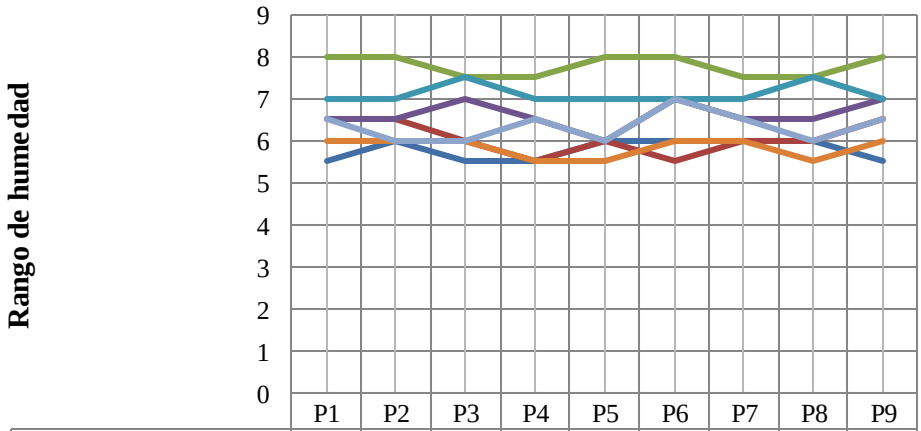
b) Datos y graficas de las pruebas de campo de la humedad diaria

Humedad diaria (07/11/2014)

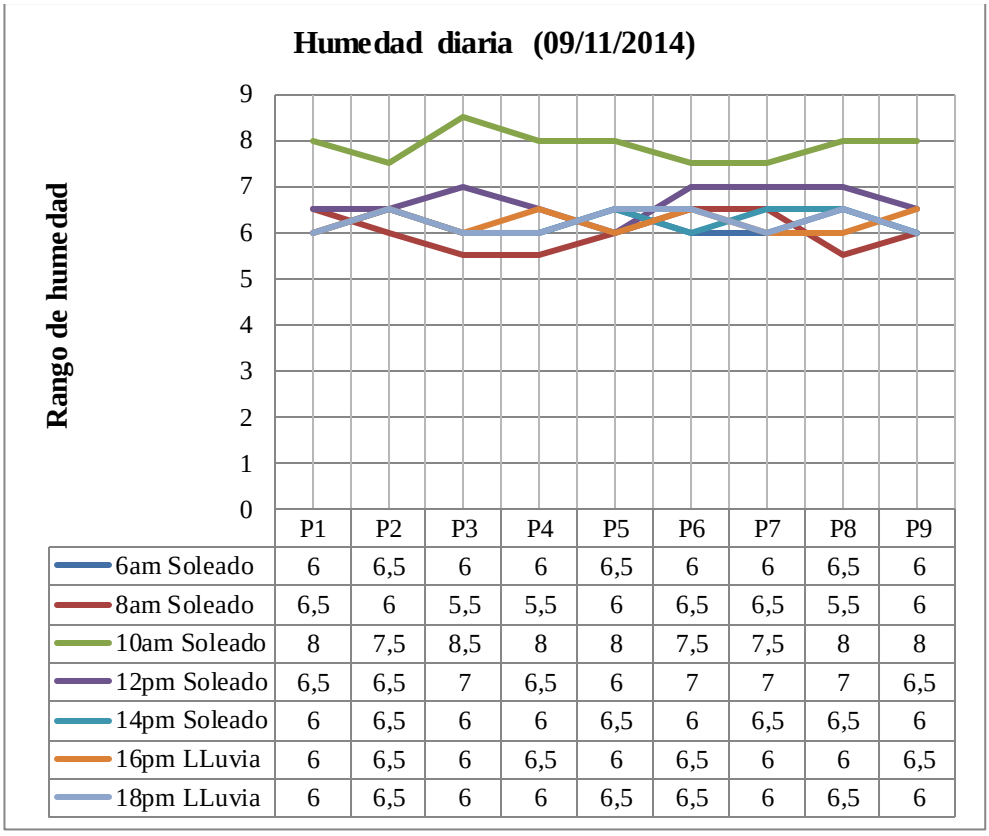


	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
6am Seminublado	6,5	5,5	6,5	6,5	6	6	6,5	5,5	6,5
8am Soleado	8	7,5	7,5	8	7,5	8	7	8	8
10am Soleado	8	8	7,5	8,5	8	7,5	8,5	7,5	7,5
12pm Soleado	6,5	5,5	6,5	6,5	6	6,5	6,5	6	6
14pm Soleado	6,5	7	6	6,5	6,5	6,5	6	7	6,5
16pm Seminublado	7	6,5	7	6,5	7	7	6,5	6	7
18pm Seminublado	7	6	6	6	6,5	6,5	6,5	7	6,5

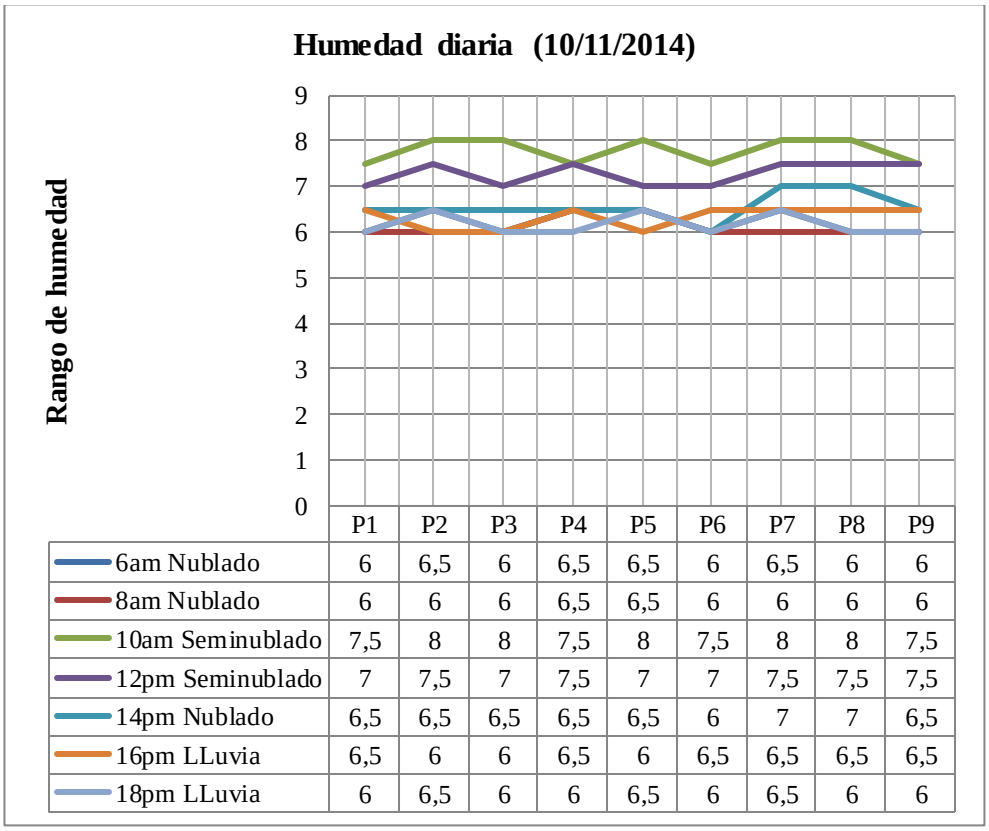
Humedad diaria (08/11/2014)



	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
6am Seminublado	5,5	6	5,5	5,5	6	6	6	6	5,5
8am Soleado	6,5	6,5	6	5,5	6	5,5	6	6	6,5
10am Soleado	8	8	7,5	7,5	8	8	7,5	7,5	8
12pm Soleado	6,5	6,5	7	6,5	6	7	6,5	6,5	7
14pm Nublado	7	7	7,5	7	7	7	7	7,5	7
16pm Nublado	6	6	6	5,5	5,5	6	6	5,5	6
18pm Seminublado	6,5	6	6	6,5	6	7	6,5	6	6,5



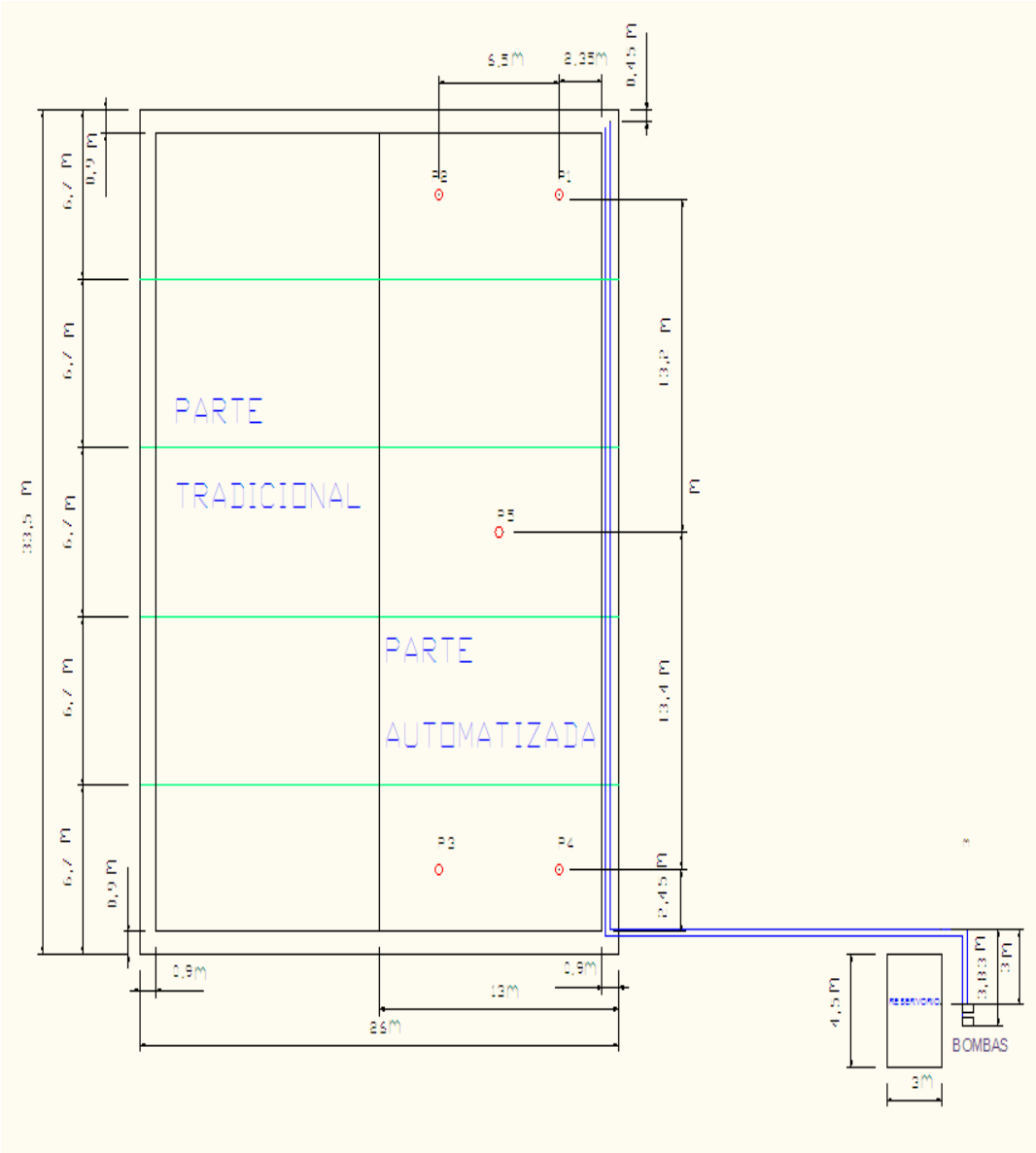
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
6am Soleado	6	6,5	6	6	6,5	6	6	6,5	6
8am Soleado	6,5	6	5,5	5,5	6	6,5	6,5	5,5	6
10am Soleado	8	7,5	8,5	8	8	7,5	7,5	8	8
12pm Soleado	6,5	6,5	7	6,5	6	7	7	7	6,5
14pm Soleado	6	6,5	6	6	6,5	6	6,5	6,5	6
16pm LLuvia	6	6,5	6	6,5	6	6,5	6	6	6,5
18pm LLuvia	6	6,5	6	6	6,5	6,5	6	6,5	6



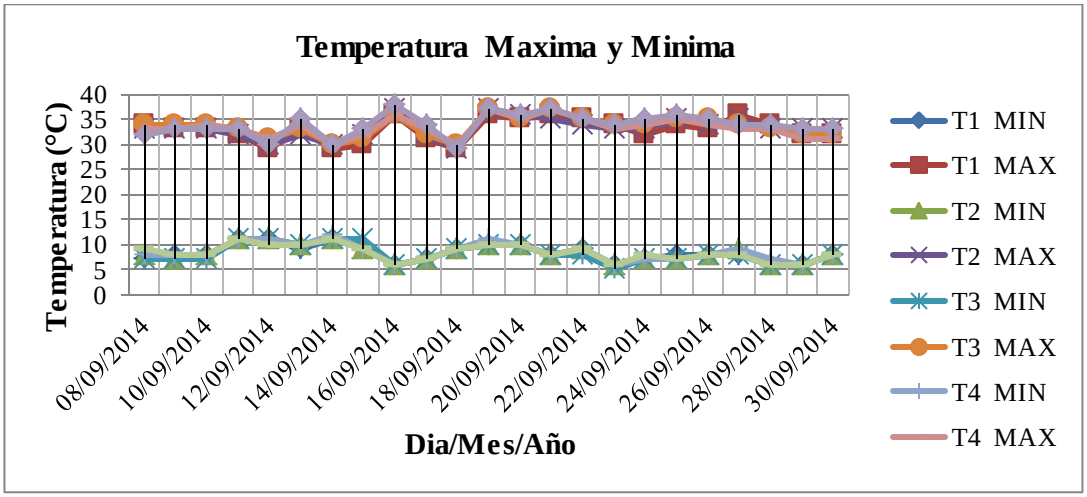
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
6am Nublado	6	6,5	6	6,5	6,5	6	6,5	6	6
8am Nublado	6	6	6	6,5	6,5	6	6	6	6
10am Seminublado	7,5	8	8	7,5	8	7,5	8	8	7,5
12pm Seminublado	7	7,5	7	7,5	7	7	7,5	7,5	7,5
14pm Nublado	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6	7	7	6,5
16pm LLuvia	6,5	6	6	6,5	6	6,5	6,5	6,5	6,5
18pm LLuvia	6	6,5	6	6	6,5	6	6,5	6	6

Anexo 7. Temperatura maxima-minima

a) Ubicación de los medidores de temperatura dentro del invernadero.



b) **Datos y grafica de las pruebas de campo de la temperatura máxima y mínima**



	Ubicación T1		Ubicación T2		Ubicación T3		Ubicación T4		Ubicación T5	
FECHA	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**
08/09/2014	7	34	8	33	7	34	8	33	9	32
09/09/2014	8	33	7	33	7	34	8	33	8	33
10/09/2014	8	33	8	33	7	34	8	34	8	33
11/09/2014	11	32	11	32	11	33	11	33	11	33
12/09/2014	11	29	11	30	11	31	11	31	10	30
13/09/2014	9	33	10	32	10	33	10	34	10	35
14/09/2014	11	29	11	30	11	30	12	30	11	30
15/09/2014	10	30	9	32	11	31	9	32	9	33
16/09/2014	6	36	6	37	6	36	6	36	6	38
17/09/2014	7	31	7	32	7	32	7	33	7	34
18/09/2014	9	29	9	29	9	30	9	30	9	29
19/09/2014	10	36	10	37	10	37	11	37	10	37
20/09/2014	10	35	10	36	10	35	10	35	10	36
21/09/2014	8	36	8	35	8	37	8	37	8	37
22/09/2014	9	35	9	34	8	35	9	35	9	35
23/09/2014	6	34	6	33	5	34	6	33	6	34
24/09/2014	7	32	7	33	7	34	7	34	8	35
25/09/2014	8	34	7	35	7	35	7	35	7	36
26/09/2014	8	33	8	34	8	35	8	34	8	35
27/09/2014	8	36	9	35	8	34	9	33	8	34
28/09/2014	6	34	6	33	6	33	7	33	6	34
29/09/2014	6	32	6	33	6	32	6	31	6	33
30/09/2014	8	32	8	33	8	32	8	31	8	33

Anexo 8. Sistemas de cortinas

a) Sistema de elevación con ruedas

Motor unido a la cortina

Motor ensamblado con dos ruedas

Cortina a la abierta a la mitad

Cortina abierta en su totalidad

b**) Sistema de elevación con engranajes**

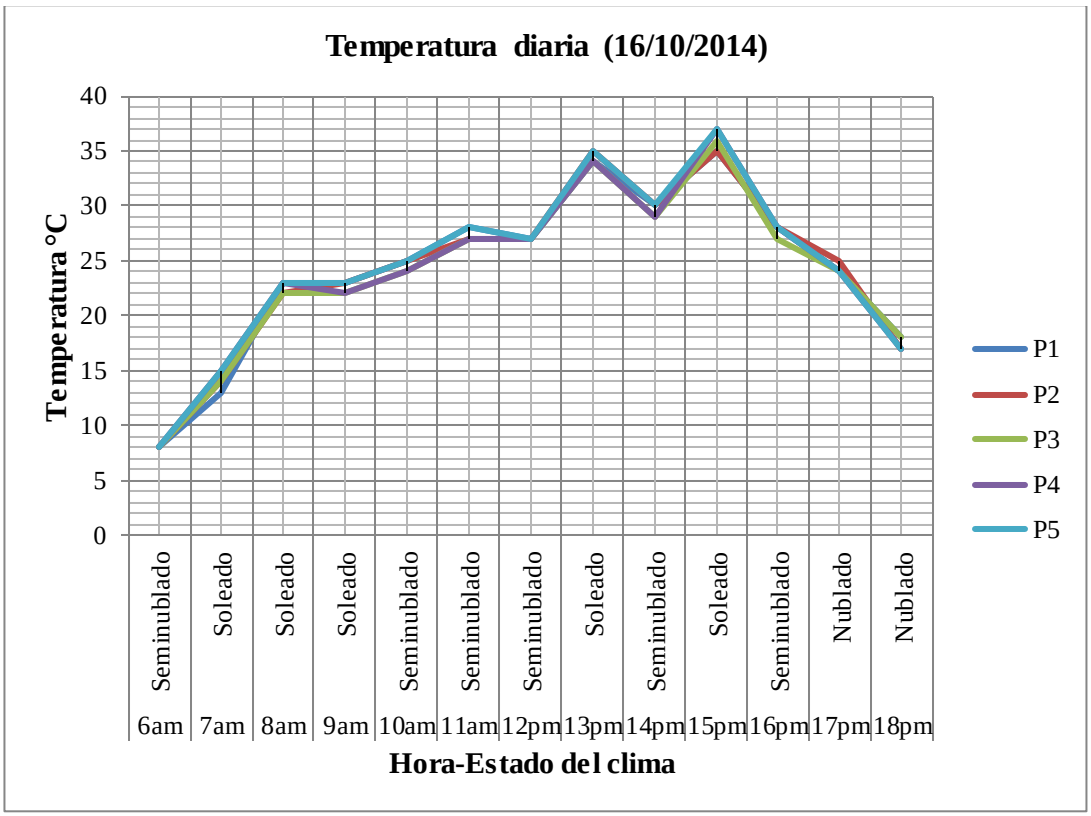
Motor unido al engranaje

Tubo de la cortina ensamblado al engranaje

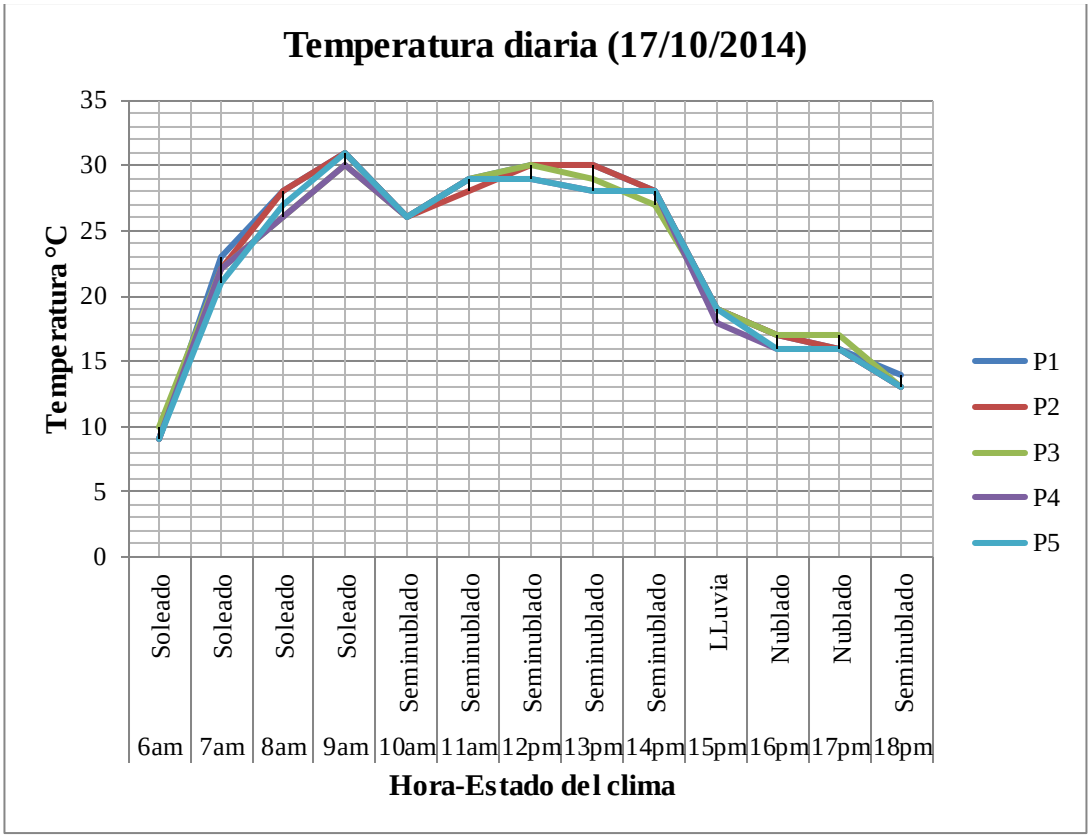
Ensamble del sistema de engranajes

Puesta a puntos del sistema de engranajes

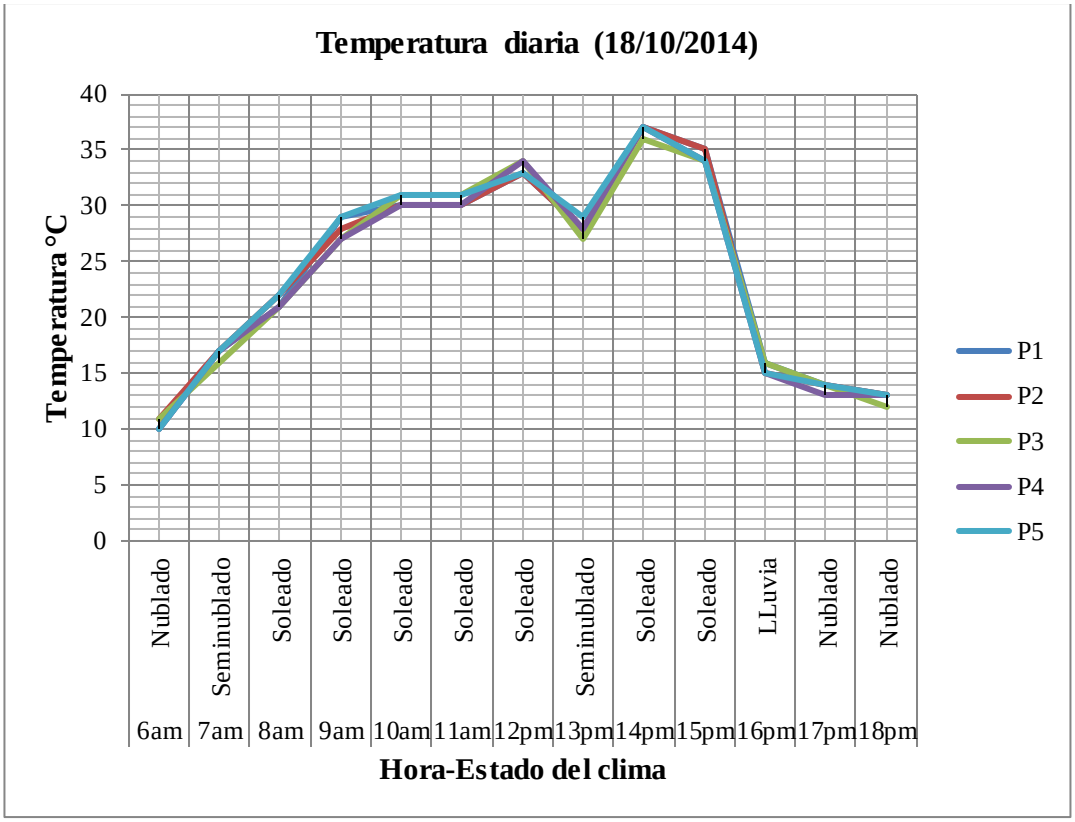
Anexo 9. Datos y grafica de las pruebas de campo de la temperatura diaria



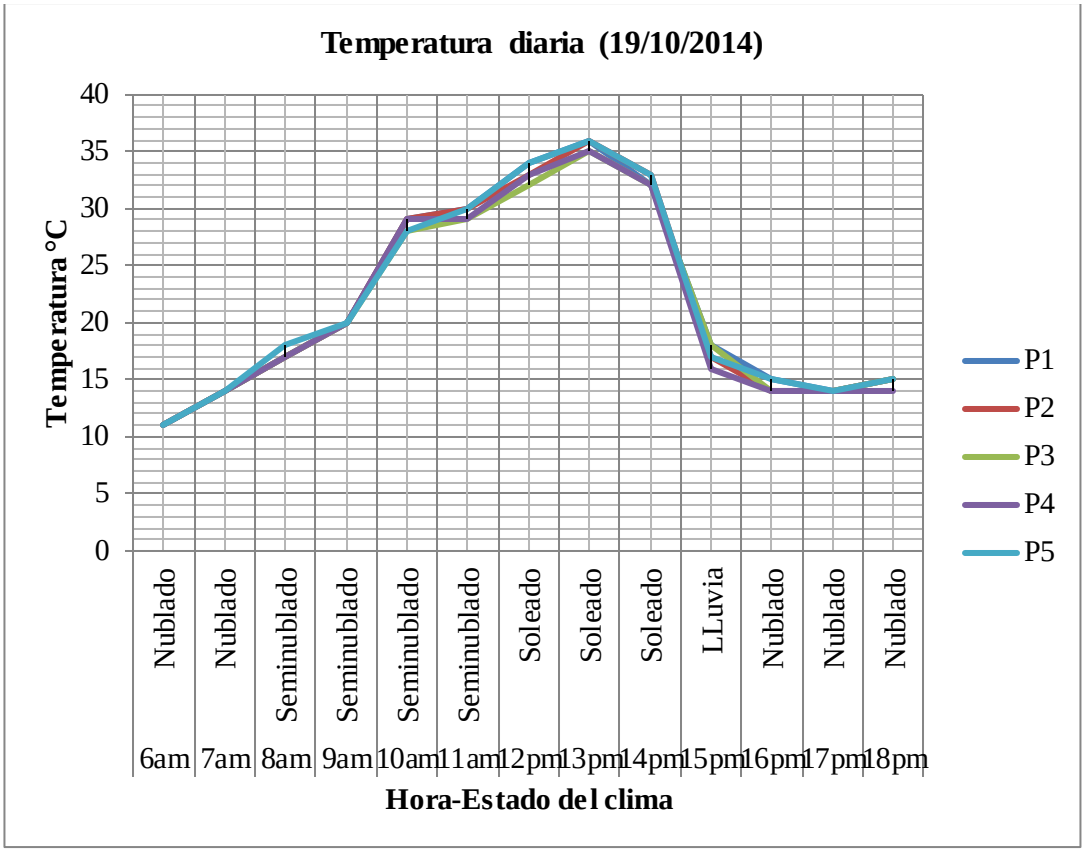
FECHA	Hora	Estado del clima	P1	P2	P3	P4	P5
16/10/2014	6am	Seminublado	8	8	8	8	8
	7am	Soleado	13	14	14	15	15
	8am	Soleado	23	22	22	23	23
	9am	Soleado	23	23	22	22	23
	10am	Seminublado	25	25	24	24	25
	11am	Seminublado	28	27	27	27	28
	12pm	Seminublado	27	27	27	27	27
	13pm	Soleado	34	35	34	34	35
	14pm	Seminublado	30	30	29	29	30
	15pm	Soleado	35	35	36	37	37
	16pm	Seminublado	28	28	27	28	28
	17pm	Nublado	24	25	24	24	24
	18pm	Nublado	18	17	18	17	17



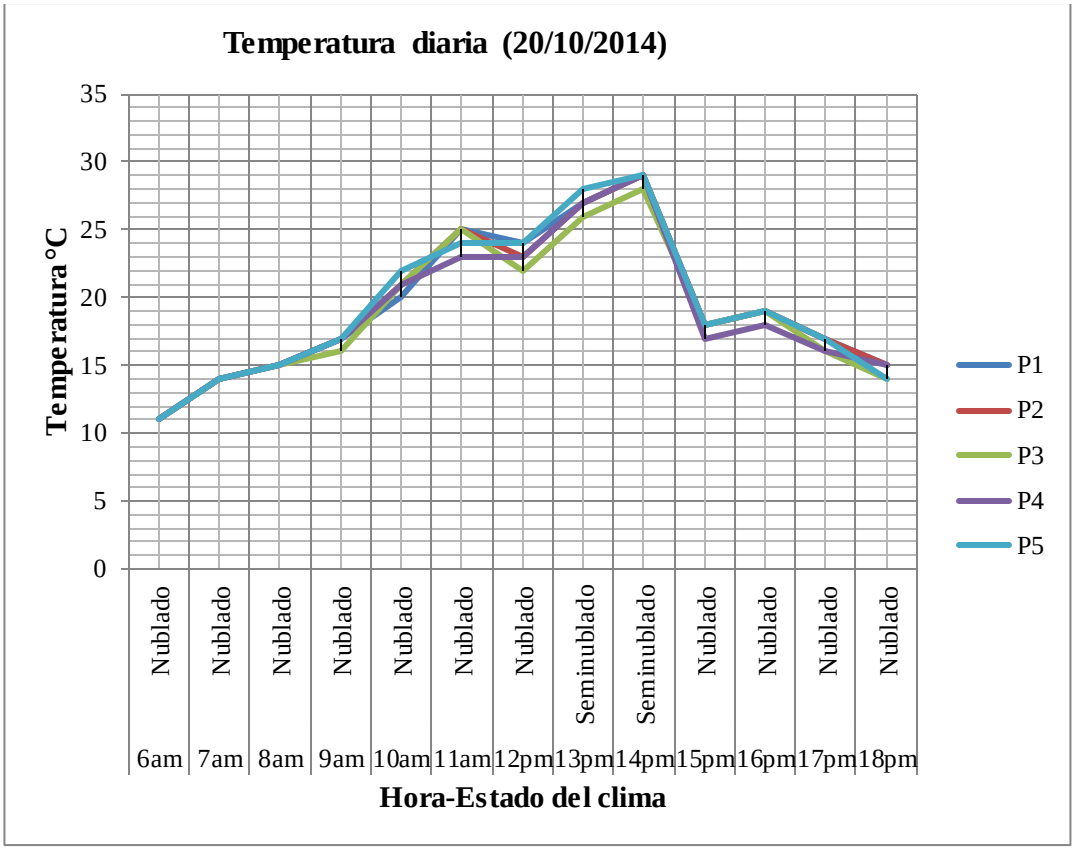
FECHA	Hora	Estado del clima	P1	P2	P3	P4	P5
17/10/2014	6am	Soleado	9	9	10	9	9
	7am	Soleado	23	22	22	22	21
	8am	Soleado	28	28	26	26	27
	9am	Soleado	31	31	30	30	31
	10am	Seminublado	26	26	26	26	26
	11am	Seminublado	29	28	29	29	29
	12pm	Seminublado	30	30	30	29	29
	13pm	Seminublado	30	30	29	28	28
	14pm	Seminublado	28	28	27	28	28
	15pm	Lluvia	19	19	19	18	19
	16pm	Nublado	17	17	17	16	16
	17pm	Nublado	16	16	17	16	16
	18pm	Seminublado	14	13	13	13	13



FECHA	Hora	Estado del clima	P1	P2	P3	P4	P5
18/10/2014	6am	Nublado	10	11	11	10	10
	7am	Seminublado	17	17	16	17	17
	8am	Soleado	21	22	21	21	22
	9am	Soleado	29	28	27	27	29
	10am	Soleado	30	30	31	30	31
	11am	Soleado	30	30	31	30	31
	12pm	Soleado	33	33	34	34	33
	13pm	Seminublado	28	28	27	28	29
	14pm	Soleado	37	37	36	37	37
	15pm	Soleado	35	35	34	34	34
	16pm	Lluvia	16	15	16	15	15
	17pm	Nublado	14	14	14	13	14
	18pm	Nublado	13	13	12	13	13



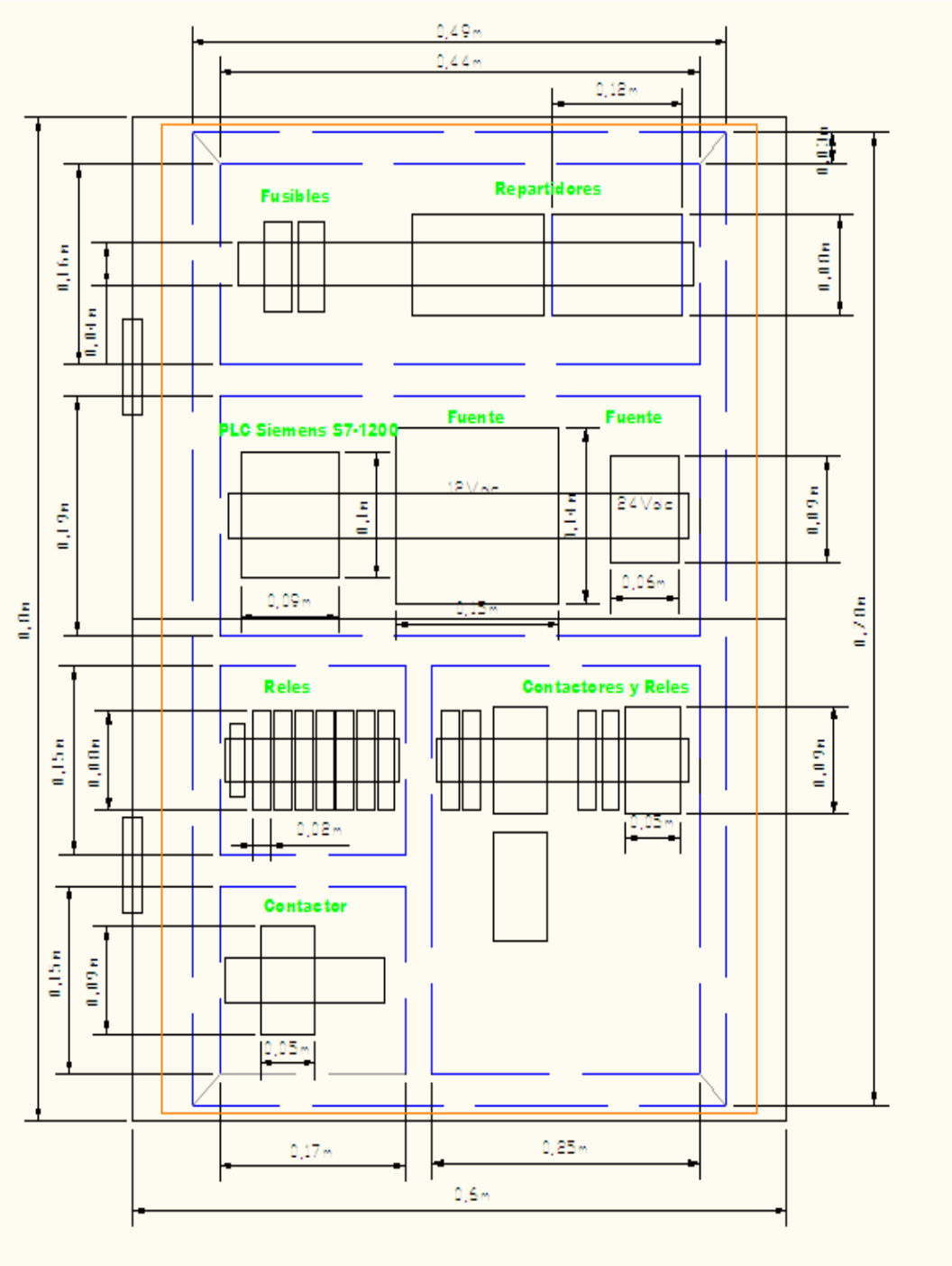
FECHA	Hora	Estado del clima	P1	P2	P3	P4	P5
19/10/2014	6am	Nublado	11	11	11	11	11
	7am	Nublado	14	14	14	14	14
	8am	Seminublado	17	17	17	17	18
	9am	Seminublado	20	20	20	20	20
	10am	Seminublado	29	29	28	29	28
	11am	Seminublado	30	30	29	29	30
	12pm	Soleado	34	33	32	33	34
	13pm	Soleado	36	36	35	35	36
	14pm	Soleado	32	33	32	32	33
	15pm	Lluvia	18	17	18	16	17
	16pm	Nublado	15	14	14	14	15
	17pm	Nublado	14	14	14	14	14
	18pm	Nublado	15	15	15	14	15



FECHA	Hora	Estado del clima	P1	P2	P3	P4	P5
20/10/2014	6am	Nublado	11	11	11	11	11
	7am	Nublado	14	14	14	14	14
	8am	Nublado	15	15	15	15	15
	9am	Nublado	17	17	16	17	17
	10am	Nublado	20	21	21	21	22
	11am	Nublado	25	25	25	23	24
	12pm	Nublado	24	23	22	23	24
	13pm	Seminublado	27	27	26	27	28
	14pm	Seminublado	29	29	28	29	29
	15pm	Nublado	18	18	18	17	18
	16pm	Nublado	19	19	19	18	19
	17pm	Nublado	17	17	16	16	17
	18pm	Nublado	15	15	14	15	14

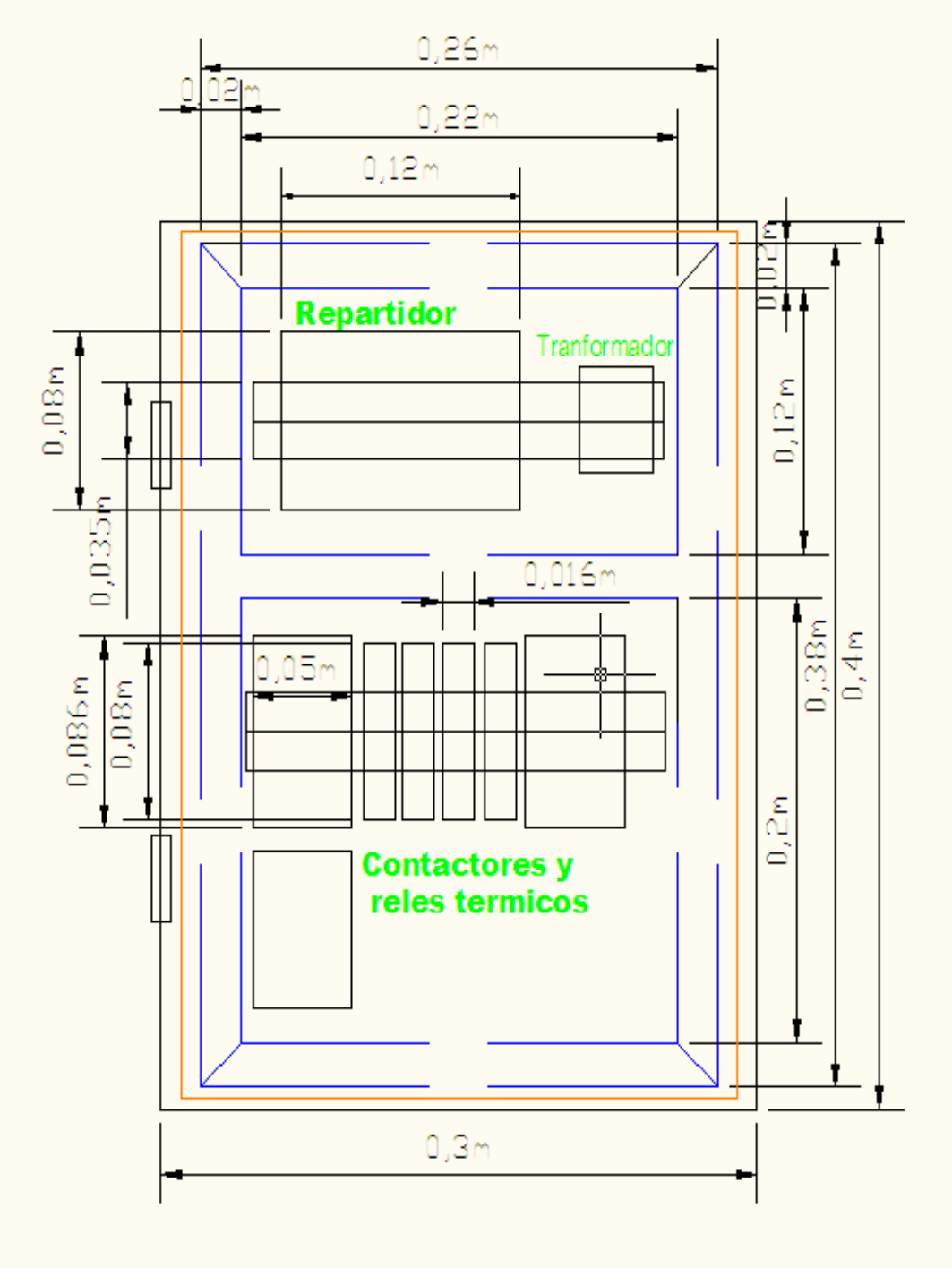
Anexo 10. Diseño del tablero eléctrico

a) Diseño y ubicación de los elementos del tablero principal



Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

b) Diseño y ubicación de los elementos del tablero secundario



Elaborado por: Ezequiel Bedoya y Angelica Cañizares

Anexo 11. Características del PLC Simatic S7 1200, CPU1214C (AC/DC/relé)

Tabla A- 49 Alimentación eléctrica

Datos técnicos		CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Rango de tensión		85 a 264 V AC	20,4 V DC a 28,8 V DC 22,0 V DC a 28,8 V DC para temperatura ambiente de -20 °C a 0 °C	
Frecuencia de línea		47 a 63 Hz	--	
Intensidad de entrada (carga máx.)	sólo CPU	100 mA a 120 V AC 60 mA a 240 V AC	600 mA a 24 V DC	
	CPU con todos los accesorios de ampliación	300 mA a 120 V AC 160 mA a 240 V AC	1500 mA a 24 V DC	
Corriente de irrupción (máx.)		20 A a 264 V AC	12 A a 28,8 V DC	
Aislamiento (alimentación de entrada a lógica)		1500 V AC	Sin aislamiento	
Corriente de fuga a tierra, línea AC a tierra funcional		0,5 mA máx.	-	
Tiempo de mantenimiento (pérdida de alimentación)		20 ms a 120 V AC 80 ms a 240 V AC	10 ms a 24 V DC	
Fusible interno, no reemplazable por el usuario		3 A, 250 V, de acción lenta		

Tabla A- 50 Alimentación de sensores

Datos técnicos	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Rango de tensión	20,4 a 28,8 V DC	L+ menos 4 V DC mín. L+ menos 5 V DC mín. para temperatura ambiente de -20 °C a 0 °C	
Intensidad de salida nominal (máx.)	400 mA (protegido contra cortocircuito)		
Ruido de rizado máx. (<10 MHz)	< 1 V de pico a pico	Igual a la línea de entrada	
Aislamiento (lógica de la CPU a alimentación de sensores)	Sin aislamiento		

A.4.3 Entradas y salidas digitales

Tabla A- 51 Entradas digitales

Datos técnicos	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Número de entradas	14		
Tipo	Sumidero/fuente (tipo 1 IEC sumidero)		
Tensión nominal	24 V DC a 4 mA, nominal		
Tensión continua admisible	30 V DC, máx.		

Datos técnicos	CPU 1214C AC/DC/relé y DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Frecuencia máxima de conmutación de relé	1 Hz	--
Frecuencia de salida de tren de impulsos (Qa.0 y Qa.2)	No recomendada [1]	100 KHz máx., 2 Hz mín.[2]
Vida útil mecánica (sin carga)	10 000 000 ciclos apertura/cierre	--
Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100 000 ciclos apertura/cierre	--
Reacción al cambiar de RUN a STOP	Último valor o valor sustitutivo (valor predeterminado: 0)	
Número de salidas ON simultáneamente	• 5 (no adyacentes) a 60 °C en horizontal o 60 °C en vertical • 10 a 55 °C en horizontal o 45 °C en vertical	
Longitud de cable (metros)	500 m apantallado, 150 m no apantallado	

[1] Para modelos de CPU con salidas de relé, se debe instalar una Signal Board (SB) digital para emplear las salidas de impulsos.

[2] En función del receptor de impulsos y del cable, una resistencia de carga adicional (al menos 10% de la intensidad nominal) puede mejorar la calidad de señal de los impulsos y la inmunidad a interferencias.

A.4.4 Entradas analógicas

Tabla A- 53 Entradas analógicas

Datos técnicos	Descripción
Número de entradas	2
Tipo	Tensión (asimétrica)
Rango total	De 0 a 10 V
Rango total (palabra de datos)	0 a 27.648
Rango de sobreimpulso	10,001 a 11,759 V
Rango de sobreimpulso (palabra de datos)	27.649 a 32.511
Rango de desbordamiento	11,760 a 11,852 V
Rango de desbordamiento (palabra de datos)	32.512 a 32.767
Resolución	10 bits
Tensión soportada máxima	35 V DC
Filtrado	Ninguno, débil, medio o fuerte Consulte la tabla de respuesta a un escalón (ms) para las entradas analógicas de la CPU (Página 770).
Supresión de ruido	10, 50 ó 60 Hz
Impedancia	≥100 KΩ
Aislamiento (campo a lógica)	Ninguno

Datos técnicos	Descripción
Precisión (25 °C/-20 a 60 °C)	3,0%/3,5% de rango máximo
Longitud de cable (metros)	100 m, par trenzado apantallado

A.4.4.1 Respuesta a un escalón de las entradas analógicas integradas en la CPU

Tabla A- 64 Respuesta a un escalón (ms), 0V a 10V medido a 95%

Selección de filtrado (valor medio de muestreo)	Supresión de frecuencias (tiempo de integración)		
	60 Hz	50 Hz	10 Hz
Ninguno (1 ciclo): Sin media	50 ms	50 ms	100 ms
Débil (4 ciclos): 4 muestreos	50 ms	70 ms	200 ms
Medio (16 ciclos): 16 muestreos	200 ms	240 ms	1150 ms
Fuerte (32 ciclos): 32 muestreos	400 ms	480 ms	2300 ms
Tiempo de muestreo	**4,17 ms**	**5 ms**	**25 ms**

A.4.4.2 Tiempo de muestreo para los puertos analógicos integrados en la CPU

Tabla A- 65 Tiempo de muestreo para las entradas analógicas integradas en la CPU

Supresión de frecuencias (selección del tiempo de integración)	Tiempo de muestreo
60 Hz (16,6 ms)	4,17 ms
50 Hz (20 ms)	5 ms
10 Hz (100 ms)	25 ms

Anexo 12. Sistema de riego

a) Función de membresía

Entrada 1: Ciclo De Cultivo

$$\mu\,(\text{Siembra}) \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 7 \\ y = -0.5x + 3.5 & 7 < x \leq 9 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Desarrollo}) \begin{cases} y = 0.5x - 3 & 7 \leq x \leq 9 \\ 1 & 9 < x \leq 28 \\ y = -0.5x + 14 & 28 < x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Enfloración}) \begin{cases} y = 0.5x - 13.5 & 28 \leq x \leq 30 \\ 1 & 30 < x \leq 42 \\ y = -0.5x + 21 & 42 < x \leq 44 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Engrose}) \begin{cases} y = 0.5x - 20.5 & 42 \leq x \leq 44 \\ 1 & 44 < x \leq 63 \\ y = -0.5x + 31.5 & 63 < x \leq 65 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Maduración}) \begin{cases} y = 0.5x - 31 & 63 \leq x \leq 65 \\ 1 & 65 < x \leq 170 \end{cases}$$

Entrada 2: Humedad

$$\mu\ (\text{Muy Húmedo}) \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 10 \\ y = -0.2x + 3 & 10 < x \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu\ (\text{Húmedo}) \begin{cases} y = 0.2x - 2 & 10 \leq x \leq 15 \\ 1 & 15 < x \leq 30 \\ y = -0.2x + 7 & 30 < x \leq 35 \end{cases}$$

$$\mu\ (\text{Normal}) \begin{cases} y = 0.2x - 6 & 30 \leq x \leq 35 \\ 1 & 35 < x \leq 60 \\ y = -0.2x + 13 & 60 < x \leq 65 \end{cases}$$

$$\mu\ (\text{Seco}) \begin{cases} y = 0.2x - 12 & 60 \leq x \leq 65 \\ 1 & 65 < x \leq 80 \\ y = -0.2x - 17 & 80 \leq x \leq 85 \end{cases}$$

$$\mu\ (\text{Muy seco}) \begin{cases} y = 0.2x - 16 & 80 \leq x \leq 85 \\ 1 & 10 \leq x \leq 260 \end{cases}$$

Salida: Riego

$$\mu\,(\text{Nada}) \begin{cases} y = -2.5x + 1 & 0 \le x \le 0.4 \end{cases}$$

$$\mu\,(1_\text{Electroválvula}) \begin{cases} y = 2.5x & 0 \le x \le 0.4 \\ y = -2.5x + 2 & 0.4 < x \le 0.8 \end{cases}$$

$$\mu\,(2_\text{Electroválvula}) \begin{cases} y = 2.5x - 1 & 0.4 \le x \le 0.8 \\ y = -2.5x + 3 & 0.8 < x \le 1.2 \end{cases}$$

$$\mu\,((3_\text{Electroválvula}) \begin{cases} y = 2.5x - 2 & 0.8 \le x \le 1.2 \\ y = -2.5x + 4 & 1.2 \le x \le 1.6 \end{cases}$$

b) Construcción de base de reglas (FAM)

1) IF Ciclo de cultivo = Siembra OR Humedad = Muy húmedo Then Salida = Nada
2) IF Ciclo de cultivo = Siembra OR Humedad = Húmedo Then Salida =Nada
3) IF Ciclo de cultivo = Siembra OR Humedad = Normal Then Salida =1_electrovál.
4) IF Ciclo de cultivo = Siembra OR Humedad = Seco Then Salida =1_electrovál.
5) IF Ciclo de cultivo = Siembra OR Humedad = Muy seco Then Salida =2_electrovál.
6) IF Ciclo de cultivo = Desarrollo OR Humedad = Muy húmedo Then Salida =Nada
7) IF Ciclo de cultivo = Desarrollo OR Humedad = Húmedo Then Salida =Nada
8) IF Ciclo de cultivo = Desarrollo OR Humedad = Normal Then Salida =1_electrovál.
9) IF Ciclo de cultivo = Desarrollo OR Humedad = Seco Then Salida =2_electrovál.
10) IF Ciclo de cultivo = Desarrollo OR Humedad = Muy seco Then Salida =2_electrovál.
11) IF Ciclo de cultivo = Enflorecimiento OR Humedad = Muy húmedoThen Salida =Nada
12) IF Ciclo de cultivo = Enflorecimiento OR Humedad = Húmedo Then Salida =Nada
13) IF Ciclo de cultivo = Enflorecimiento OR Humedad = Normal Then Salida=2_electrovál
14) IF Ciclo de cultivo = Enflorecimiento OR Humedad = Seco Then Salida=2_electrovál
15) IF Ciclo de cultivo = Enflorecimiento OR Humedad = Muy seco Then Salida =3_electrovál
16) IF Ciclo de cultivo = Engrose OR Humedad = Muy húmedo Then Salida = Nada
17) IF Ciclo de cultivo = Engrose OR Humedad = Húmedo Then Salida =Nada
18) IF Ciclo de cultivo = Engrose OR Humedad = Normal Then Salida =2_electrovál.
19) IF Ciclo de cultivo = Engrose OR Humedad = Seco Then Salida =3_electrovál.
20) IF Ciclo de cultivo = Engrose OR Humedad = Muy seco Then Salida =3_electrovál.
21) IF Ciclo de cultivo = Maduración OR Humedad = Muy húmedo Then Salida = Nada
22) IF Ciclo de cultivo = Maduración OR Humedad = Húmedo Then Salida = Nada
23) IF Ciclo de cultivo = Maduración OR Humedad = Normal Then Salida=3_electrovál
24) IF Ciclo de cultivo = Maduración OR Humedad = Seco Then Salida=3_electrovál
25) IF Ciclo de cultivo = Maduración OR Humedad = Muy seco Then Salida=3_electrovál

Anexo 13. Sistema de ventilación

a) Función de membresía

Entrada 1: Temperatura

$$\mu\,(\text{Frio}) \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 11 \\ y = -0.5x + 6.5 & 11 < x \leq 13 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Fresco}) \begin{cases} y = 0.5x - 5.5 & 11 \leq x \leq 13 \\ 1 & 13 < x \leq 15 \\ y = -x + 8.5 & 15 < x \leq 17 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Moderado}) \begin{cases} y = 0.5x - 7.5 & 15 \leq x \leq 17 \\ 1 & 17 < x \leq 25 \\ y = -0.5x + 13.5 & 25 < x \leq 27 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Cálido}) \begin{cases} y = 0.5x - 12.5 & 25 \leq x \leq 27 \\ 1 & 27 < x \leq 29 \\ y = -0.5x + 15.5 & 29 < x \leq 31 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Caluroso}) \begin{cases} y = 0.5x - 14.5 & 29 \leq x \leq 31 \\ 1 & 31 < x \leq 60 \end{cases}$$

Entrada 2: Hora Diaria

$$\mu\,(\text{Alba}) \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 5 \\ y = -x + 6 & 5 < x \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Mañana}) \begin{cases} y = x - 5 & 5 \leq x \leq 6 \\ 1 & 6 < x \leq 8 \\ y = -x + 9 & 8 < x \leq 9 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Día}) \begin{cases} y = x - 8 & 8 \leq x \leq 10 \\ 1 & 9 < x \leq 14 \\ y = -x + 15 & 14 < x \leq 16 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Tarde}) \begin{cases} y = x - 14 & 14 \leq x \leq 16 \\ 1 & 16 < x \leq 17 \\ y = -x + 18 & 17 \leq x \leq 18 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Noche}) \begin{cases} y = x - 17 & 17 \leq x \leq 18 \\ 1 & 18 \leq x \leq 24 \end{cases}$$

Salida: Ventilación

$$\mu\,(\text{Cerrado})\begin{cases} 1 & 0 \le x \le 1 \\ y = -2x + 2 & 1 \le x \le 1.5 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{C. Mitad})\begin{cases} y = 2x & 1 \le x \le 1.5 \\ 1 & 1.5 \le x \le 2 \\ y = -2x + 4 & 1 < x \le 2 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{C. Abierto})\begin{cases} y = 2x - 4 & 2 \le x \le 2.5 \\ 1 & 2.5 \le x \le 3 \\ y = -2x + 6 & 3 < x \le 3.5 \end{cases}$$

$$\mu\,(\text{Ventiladores})\begin{cases} y = 2x - 4 & 3 \le x \le 3.5 \\ 1 & 3.5 \le x \le 4.5 \end{cases}$$

b) Construcción de base de reglas (FAM)

1)	IF Temperatura = Frio	OR	Hora Diaria = Alba	Then	Salida = Cerrado
2)	IF Temperatura = Frio	OR	Hora Diaria = Mañana	Then	Salida = Cerrado
3)	IF Temperatura = Frio	OR	Hora Diaria = Día	Then	Salida = Cerrado
4)	IF Temperatura = Frio	OR	Hora Diaria = Tarde	Then	Salida = Cerrado
5)	IF Temperatura = Frio	OR	Hora Diaria = Noche	Then	Salida = Cerrado
6)	IF Temperatura = Fresco	OR	Hora Diaria = Alba	Then	Salida = Cerrado
7)	IF Temperatura = Fresco	OR	Hora Diaria = Mañana	Then	Salida = Cerrado
8)	IF Temperatura = Fresco	OR	Hora Diaria = Día	Then	Salida = C. Mitad
9)	IF Temperatura = Fresco	OR	Hora Diaria = Tarde	Then	Salida = Cerrado
10)	IF Temperatura = Fresco	OR	Hora Diaria = Noche	Then	Salida = Cerrado
11)	IF Temperatura = Moderado	OR	Hora Diaria = Alba	Then	Salida = Cerrado
12)	IF Temperatura = Moderado	OR	Hora Diaria = Mañana	Then	Salida = C. Mitad
13)	IF Temperatura = Moderado	OR	Hora Diaria = Día	Then	Salida = C. Abierta
14)	IF Temperatura = Moderado	OR	Hora Diaria = Tarde	Then	Salida = C. Mitad
15)	IF Temperatura = Moderado	OR	Hora Diaria = Noche	Then	Salida = Cerrado
16)	IF Temperatura = Cálido	OR	Hora Diaria = Alba	Then	Salida = C. Mitad
17)	IF Temperatura = Cálido	OR	Hora Diaria = Mañana	Then	Salida = C. Abierta
18)	IF Temperatura = Cálido	OR	Hora Diaria = Día	Then	Salida = Ventiladores
19)	IF Temperatura = Cálido	OR	Hora Diaria = Tarde	Then	Salida = C. Abierta
20)	IF Temperatura = Cálido	OR	Hora Diaria = Noche	Then	Salida = C. Mitad
21)	IF Temperatura = Caluroso	OR	Hora Diaria = Alba	Then	Salida = C. Abierta
22)	IF Temperatura = Caluroso	OR	Hora Diaria = Mañana	Then	Salida = Ventiladores
23)	IF Temperatura = Caluroso	OR	Hora Diaria = Día	Then	Salida = Ventiladores
24)	IF Temperatura = Caluroso	OR	Hora Diaria = Tarde	Then	Salida = Ventiladores
25)	IF Temperatura = Caluroso	OR	Hora Diaria = Noche	Then	Salida = C. Abierta

Anexo 14. Comprobación de los sistemas implementados

a) Sistema de ventilación

Hora Diaria(h)	
0_6	Alba
5_6	Alba_Mañana
5_9	Mañana
8_9	Mañana_Día
8_15	Día
14_15	Día_Tarde
14_18	Tarde
17_18	Tarde_Noche
17_24	Noche

Temperatura(°C)	
0_13	Frio
11_13	Frio_Fresco
11_17	Fresco
15_17	Fresco_Moderado
15_27	Moderado
25_27	Moderado_Cálido
25_31	Cálido
29_31	Cálido_Caluroso
29_60	Caluroso

Temperatura	Frio	Fresco	Moderado	Cálido	Caluroso
Hora-Diaria	0_13(°C)	11_17(°C)	15_27(°C)	25_31(°C)	20_60(°C)
Alba 0-6(h)	Cerrado	Cerrado	Cerrado	C.Mitad	C.Abierta
Mañana 5_9(h)	Cerrado	Cerrado	C.Mitad	C.Abierta	Ventiladores
Día 8_15(h)	Cerrado	C.Mitad	C.Abierta	Ventiladores	Ventiladores
Tarde 14_18(h)	Cerrado	Cerrado	C.Mitad	C.Abierta	Ventiladores
Noche 17_24(h)	Cerrado	Cerrado	Cerrado	C.Mitad	C.Abierta

Fecha:	12/01/2015			
Hora	**Registro de temperatura (°C)**	**Sistema Difuso (actual)**	**Funciona**	**Observaciones**
6am	10°	Cerrado	Si	Ninguna
8am	18°	C.Abierta	No	C.Mitad
9am	26°	C.Mitad	No	C.Abierta
10am	25°	C.Abierta	Si	Ninguna
12pm	17°	C.Mitad	Si	Ninguna
14pm	17°	C.Mitad	Si	Ninguna
16pm	15°	Cerrado	Si	Ninguna
18pm	13°	Cerrado	Si	Ninguna

Fecha:	13/01/2015			
Hora	**Registro de temperatura(°C)**	**Sistema Difuso(actual)**	**Funciona**	**Observaciones**
6am	12°	Cerrado	Si	Ninguna
8am	18°	C.Abierta	No	C.Mitad
9am	31°	C.Abierta	No	Ventiladores
10am	32°	C.Abierta	No	Ventiladores
12pm	21°	C.Mitad	Si	Ninguna
14pm	18°	C.Mitad	Si	Ninguna
16pm	17°	Cerrado	Si	Ninguna
18pm	15°	Cerrado	Si	Ninguna

Fecha:	14/01/2015			
Hora	**Registro de temperatura(°C)**	**Sistema Difuso(actual)**	**Funciona**	**Observaciones**
6am	9°	Cerrado	Si	Ninguna
8am	22°	C.Mitad	Si	C.Mitad
9am	26°	C.Abierta	Si	Ventiladores
10am	32°	C.Abierta	No	Ventiladores
12pm	20°	C.Abierta	No	Ninguna
14pm	24°	C.Abierta	No	Ninguna
16pm	15°	Cerrado	Si	Ninguna
18pm	13°	Cerrado	Si	Ninguna

Fecha:	15/01/2015			
Hora	**Registro de temperatura(°C)**	**Sistema Difuso(actual)**	**Funciona**	**Observaciones**
6am	9°	Cerrado	Si	Ninguna
8am	27°	C.Abierta	Si	Ninguna
9am	29°	Ventiladores	Si	Ninguna
10am	32°	Ventiladores	Si	Ninguna
12pm	12°	Cerrado	Si	Ninguna
14pm	13°	Cerrado	Si	Ninguna
16pm	12°	Cerrado	Si	Ninguna
18pm	12°	Cerrado	Si	Ninguna

Fecha:	16/01/2015			
Hora	**Registro de temperatura(°C)**	**Sistema Difuso(actual)**	**Funciona**	**Observaciones**
6am	9°	Cerrado	Si	Ninguna
8am	17°	C.Mitad	Si	Ninguna
9am	21°	C.Abierta	Si	Ninguna
10am	25°	C.Abierta	Si	Ninguna
12pm	28°	C.Abierta	Si	Ninguna
14pm	28°	C.Abierta	Si	Ninguna
16pm	18°	Cerrado	Si	Ninguna
18pm	15°	Cerrado	Si	Ninguna

b) Sistema de riego

Ciclo de cultivo (Días)	
0_14	Alba
7_14	Alba_Mañana
7_35	Mañana
28_35	Mañana_Día
28_49	Día
42_49	Día_Tarde
42_70	Tarde
63_70	Tarde_Noche
63_170	Noche

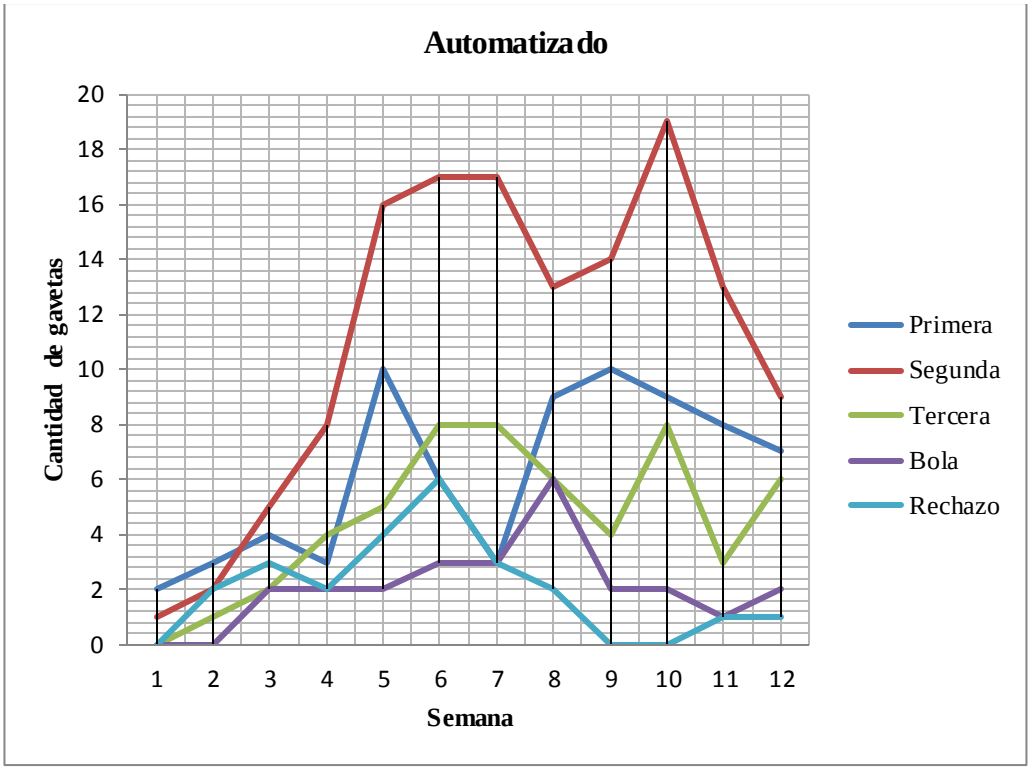
Humedad (Cb)	
0_15	Muy Húmedo
10_15	Muy húmedo-Húmedo
10_35	Húmedo
30_35	Húmedo-Normal
30_65	Normal
60_65	Normal-Seco
60_85	Seco
80_85	Seco-Muy seco
80_260	Muy Seco

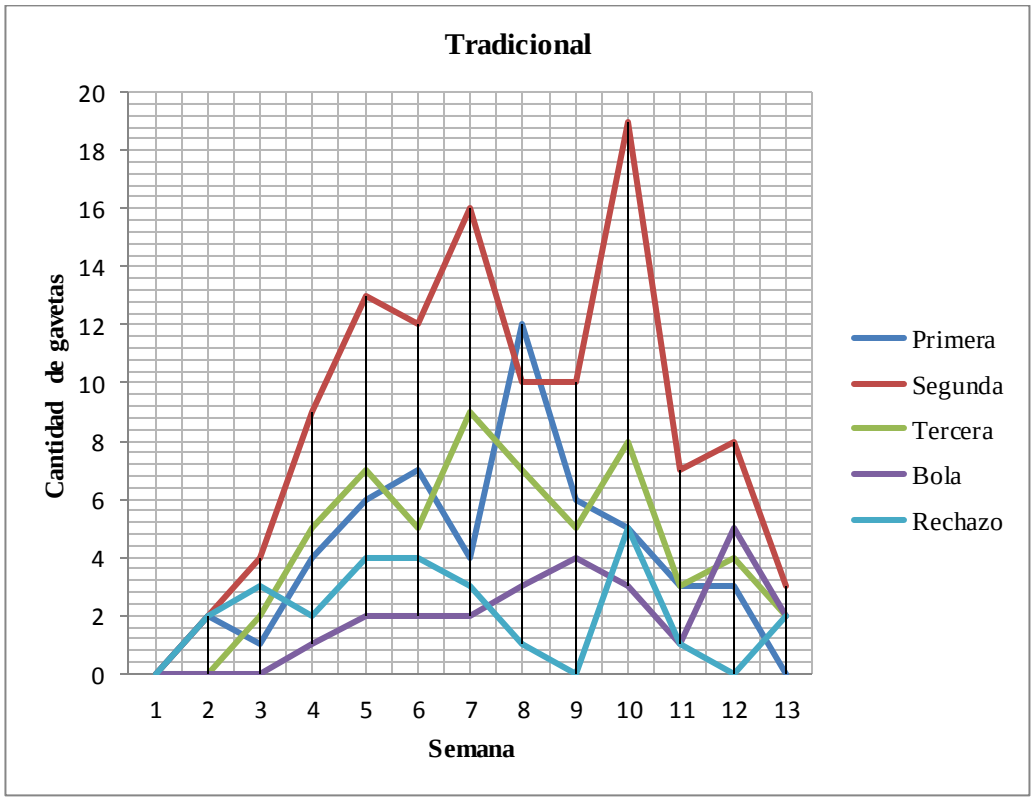
Ciclo de cultivo / Húmedad	Siembra 0_14(días)	Desarrollado 7_35(días)	Enflorecimiento 28_49(días)	Engrose 42_70(días)	Maduración 63_175(días)
Muy húmedo 0-15(CB)	Nada	Nada	Nada	Nada	Nada
Húmedo 10_35(CB)	Nada	Nada	Nada	Nada	Nada
Normal 30_65(CB)	1_Electrov.	1_Electrov.	1_Electrov.	2_Electrov.	3_Electrov.
Seco 60_85(CB)	1_Electrov.	2_Electrov.	2_Electrov.	3_Electrov.	3_Electrov.
Muy Seco 80_260(CB)	1_Electrov.	2_Electrov.	3_Electrov.	3_Electrov.	3_Electrov.

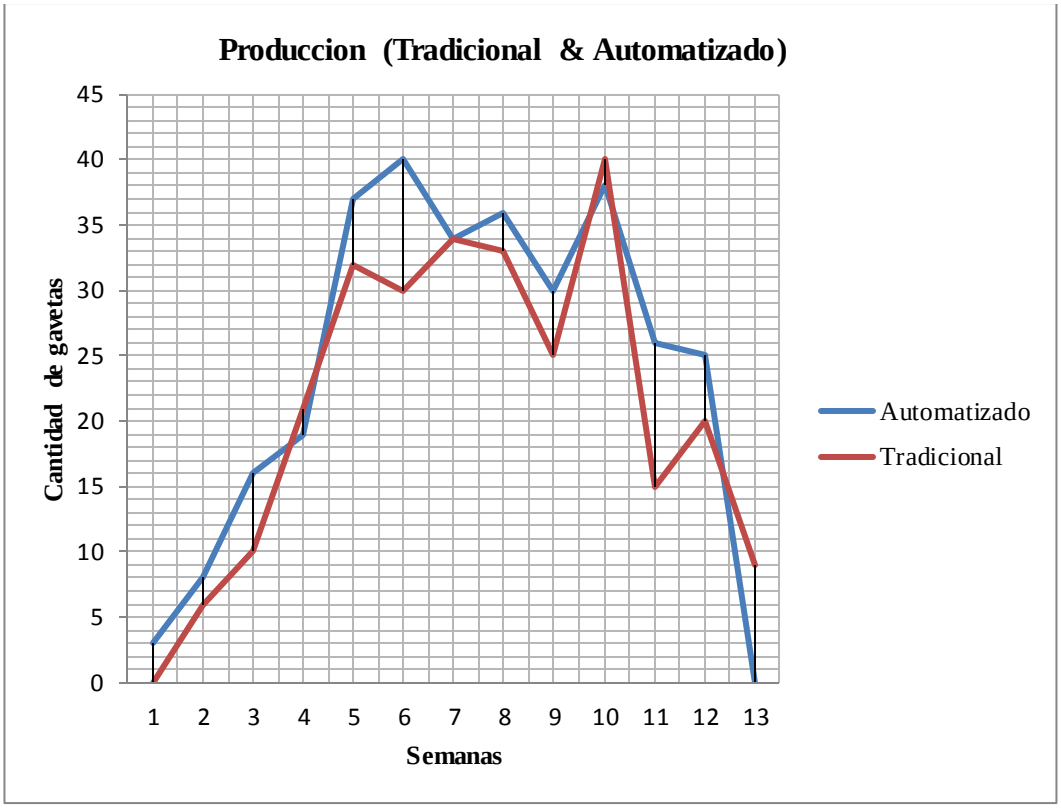
Anexo 15. Datos y graficas del contraste entre la producción automatizada y tradicional

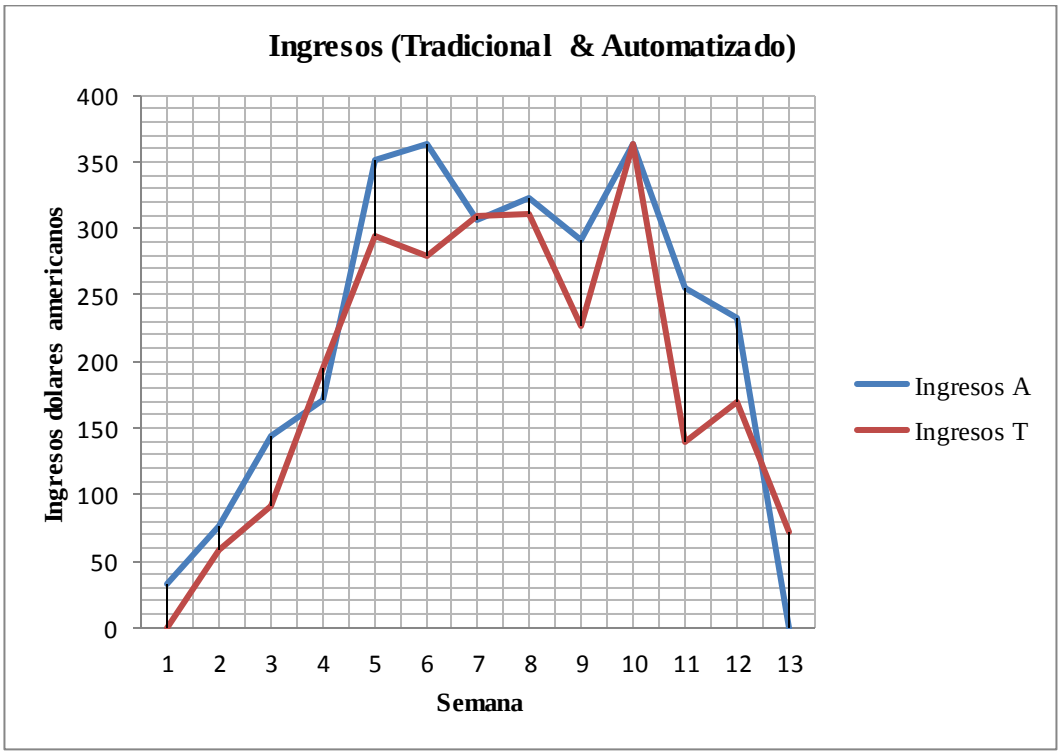
AUTOMATIZADO		Calibre de tomate rojo						
Semana	Fecha	Primera	Segunda	Tercera	Bola	Rechazo	# Gavetas	Ingresos
1	16/03/2015	2	1	0	0	0	3	32
2	23/03/2015	3	2	1	0	2	8	77
3	30/03/2015	4	5	2	2	3	16	144
4	06/04/2015	3	8	4	2	2	19	171
5	13/04/2015	10	16	5	2	4	37	352
6	20/04/2015	6	17	8	3	6	40	363
7	27/04/2015	3	17	8	3	3	34	306
8	04/05/2015	9	13	6	6	2	36	323
9	11/05/2015	10	14	4	2	0	30	292
10	18/05/2015	9	19	8	2	0	38	363
11	25/05/2015	8	13	3	1	1	26	255
12	01/06/2015	7	9	6	2	1	25	233
	Total Clase	74	134	55	25	24		
						Total gavetas		312
						Total ingresos		2911

TRADICIONAL		Calibre de tomate rojo						
Semana	Fecha	Primera	Segunda	Tercera	Bola	Rechazo	# Gavetas	Ingresos
1	16/03/2015	0	0	0	0	0	0	0
2	23/03/2015	2	2	0	0	2	6	58
3	30/03/2015	1	4	2	0	3	10	91
4	06/04/2015	4	9	5	1	2	21	195
5	13/04/2015	6	13	7	2	4	32	294
6	20/04/2015	7	12	5	2	4	30	279
7	27/04/2015	4	16	9	2	3	34	310
8	04/05/2015	12	10	7	3	1	33	311
9	11/05/2015	6	10	5	4	0	25	226
10	18/05/2015	5	19	8	3	5	40	364
11	25/05/2015	3	7	3	1	1	15	140
12	01/06/2015	3	8	4	5	0	20	170
13	08/06/2015	0	3	2	2	2	9	72
	Total Clase	53	113	57	25	27		
						Total gavetas		275
						Total ingresos		2510


Automatizado
Cantidad de gavetas
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Semana
Primera
Segunda
Tercera
Bola
Rechazo


Tradicional
Cantidad de gavetas
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Semana
Primera
Segunda
Tercera
Bola
Rechazo


Produccion (Tradicional & Automatizado)
Cantidad de gavetas
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Semanas
Automatizado
Tradicional


Ingresos (Tradicional & Automatizado)
Ingresos dolares americanos
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Semana
Ingresos A
Ingresos T

Anexo 16. Datos técnicos de la electroválvula y toma de datos

a) **Manómetro utilizado en la toma de datos y Tabla de regulación de caudal**

TABLA DE LA CURVA DE REGULACION DEL CAUDAL						
flujo /vueltas	**bar**	**psi**	**kg/cm²**	**m³/hora**	**cm³/hora**	**litros/hora**
0	0	0,00	0,00	0	0	0
0,5	0,09	1,31	0,09	0,7	700000	700
1	0,3	4,35	0,30	16	16000000	16000
1,5	0,75	10,88	0,76	35	35000000	35000
2	0,9	13,05	0,91	37,5	37500000	37500
2,5	0,98	14,21	0,99	39	39000000	39000
3	1	14,50	1,02	40	40000000	40000
3,5	1	14,50	1,02	40	40000000	40000

b) **Datos técnicos de la electroválvula**

BERMAD Irrigación

Serie 200

Serie 200
Válvulas Plasticas de Control Hidráulico/Eléctrico
Para Residencias, Comercios y Sistemas de Riego Agrícola

Las válvulas plásticas de control hidráulico, **Bermad Serie 200**, son fabricadas en tamaños de 3/4" a 2" de tipo globo o angular. Estas válvulas de control permiten alta capacidad de funcionamiento, siendo prácticamente la última palabra en hidráulica y tecnología de plásticos.

Características

- Fabricadas en plásticos de alta tecnología, resistentes a la corrosión y a la radiación U. V., con partes de goma sintética y acero inoxidable.
- Alta capacidad de flujo con bajas pérdidas de carga.
- Operan en un amplio margen de presiones.
- Limitador de caudal manual, permite regular la apertura de la válvula de acuerdo al flujo requerido.
- Llave de operación manual, para abrir la válvula en caso de fallo en el suministro de electricidad.
- Solenoide de alta performance y bajo consumo eléctrico.
- Variada gama de modelos de válvula de control, eléctricas y operadas por presión hidráulica.
- Orificio autolimpiable asegura el funcionamiento confiable de la válvula aún con "Aguas duras". (En modelos eléctricos).

2

Datos Técnicos

Tipo de válvula:
Globo, Angular y Oblicuo (Y)

Tamaños: 3/4", 1", 1 1/2" y 2"

Conexión: Rosca hembra, BSP, NPT

Norma de Presión:
– ISO: PN 10
– ANSI: Clase 125

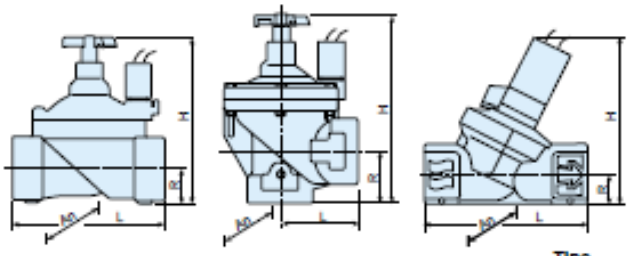
Rango de Presión:
0.7-10 bar (10-150 psi)

Rango de Temperatura:
Agua hasta 80°(180°F)

Datos Eléctricos:
– **Estándar:**
Voltaje: 24V AC (50-60-Hz)
Corriente de operación sostenida: 0.20 A
Corriente de arranque: 0.40A
– **Voltages Opcionales:**
6V DC, 12V DC, 24V DC
12V AC, 24V AC

Materiales:
– Cuerpo y tapa: Nylon reforzado
– Partes Metálicas: Acero Inoxidable
– Diafragma: Goma Natural
– Juntas: Buna-N y NR

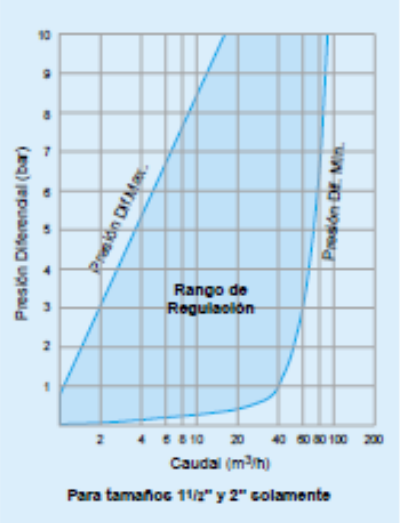
Dimensiones y Pesos



	Tipo Globo				Tipo Angular		Tipo Oblicuo (Y)
Tamaños	3/4"	1"	1 1/2"	2"	1 1/2"	2"	1"
L(mm)	110	110	160	170	80	85	114
H (mm)*	115	300	180	190	190	210	115
R (mm)	22	22	35	38	40	60	21
Ancho (mm)	78	78	125	125	125	125	68
Peso (kg)*	0.35	0.33	1.0	1.1	0.95	0.91	0.30

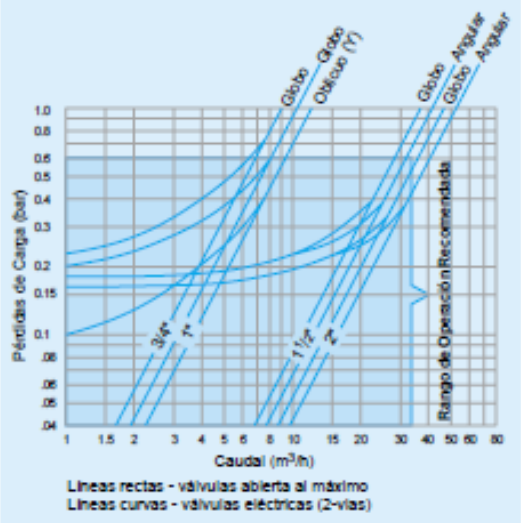
* Sin el vástago de control de flujo

Curvas de Regulación



Para tamaños 1 1/2" y 2" solamente

Gráfico de Pérdidas de Carga



Lineas rectas - válvulas abierta al máximo
Lineas curvas - válvulas eléctricas (2-vías)

3

BERMAD Irrigación

Tabla de Conversión

Para convertir de:	A:	multiplicar por:
Presión		
kg/cm^2	psi	14.22
bar	psi	14.50
kPa	psi	0.145
Carga hidrostatica		
m	psi	1.422
Caudal		
l/s	gpm	15.873
m^3/h	gpm	4.405
Longitud		
mm	in	0.0394
m	ft	3.2808
Volumen		
l	gal	0.264
m^3	gal	264.2
m^3	ft^3	35.315
Peso		
kg	lb	2.205

Para convertir de:	A:	multiplicar por:
Presión		
psi	kg/cm^2	0.070
psi	bar	0.069
psi	kPa	6.896
Carga hidrostatica		
psi	m	0.703
Caudal		
gpm	l/s	0.063
gpm	m^3/h	0.227
Longitud		
in	mm	25.40
ft	m	0.3048
Volumen		
gal	l	3.785
gal	m^3	0.00378
ft^3	m^3	0.0283
Peso		
lb	kg	0.454

Presión
- kg/cm^2 - Kilogramo por centímetro cuadrado
- psi - Libra por pulgada cuadrada
- bar - Bar
- kPa - Kilo pascal

Caudal
- l/s - Litro por segundo
- m^3/h - Metro cúbico por hora
- gpm - Galones por minuto

Longitud
- mm - Milímetro
- m - Metro
- in - Pulgada
- ft - Pié

Volumen
- l - Litro
- m^3 - Metro cúbico
- ft^3 - Pié cúbico
- gal - Galón

Peso
- kg - Kilogramo
- lb - Libra

Nota: gal y gpm - Galones U.S.A.