



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA EL CONTROL FUZZY DE TEMPERATURA Y HUMEDAD UTILIZANDO UN SISTEMA SCADA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO DE LA ESPOCH”

**QUINTO CEDEÑO CRISTIAN ALEJANDRO
RODRÍGUEZ CHICAIZA DIEGO FERNANDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2013-07-22

Yo recomiendo que el Trabajo de titulación preparado por:

QUINTO CEDEÑO CRISTIAN ALEJANDRO
RODRÍGUEZ CHICAIZA DIEGO FERNANDO

Titulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA EL CONTROL FUZZY DE TEMPERATURA Y HUMEDAD UTILIZANDO UN SISTEMA SCADA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO DE LA ESPOCH”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Dr. Marco Haro Medina
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: QUINTO CEDEÑO CRISTIAN ALEJANDRO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA EL CONTROL FUZZY DE TEMPERATURA Y HUMEDAD UTILIZANDO UN SISTEMA SCADA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-03-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Dr. Marco Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RODRÍGUEZ CHICAIZA DIEGO FERNANDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA EL CONTROL FUZZY DE TEMPERATURA Y HUMEDAD UTILIZANDO UN SISTEMA SCADA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y MANIPULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-03-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Dr. Marco Haro Medina ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Oswaldo Pérez Rodríguez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Quinto Cedeño Cristian Alejandro

Rodríguez Chicaiza Diego Fernando

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Quinto Cedeño Cristian Alejandro y Rodríguez Chicaiza Diego Fernando, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Quinto Cedeño Cristian Alejandro
Cédula de Identidad: 210016945-3

Rodríguez Chicaiza Diego Fernando
Cédula de Identidad: 180448812-8

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a Dios por haber culminado mi carrera, por darme salud y vida.

A mis padres Wilson Quinto y Ana Cedeño y a mi hermano que con su esfuerzo me ayudaron a cumplir este sueño.

Cristian Alejandro Quinto Cedeño

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios. A mis padres por todo el apoyo brindado para cumplir mi meta académica.

A mi esposa, amiga y compañera por haber estado junto a mí en los buenos y malos momentos y haberme brindado su apoyo, amor y confianza. A mi hija por ser la inspiración y motivación para seguir luchando cada día.

A mis hermanos, por su confianza, consejos y ayuda idónea en todo momento, estando siempre allí para mí.

A mis amigos que de una u otra forma me han ayudado en esta etapa de mi vida

Diego Fernando Rodríguez Chicaiza

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial a mis padres y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Cristian Alejandro Quinto Cedeño

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por todo el apoyo recibido en el transcurso de mi carrera profesional.

A mis padres, por guiarme por el camino correcto en cada etapa de mi vida, y su apoyo incondicional.

A mis hermanos y demás familiares por todo el apoyo recibido.

A mis profesores, por haber sido la guía en este camino estudiantil y compartir sus conocimientos y experiencias profesionales.

Diego Fernando Rodríguez Chicaiza

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Introducción a la lógica difusa.....	3
2.2	Sistema difuso.....	3
2.2.1	<i>Variables lingüísticas</i>	4
2.2.2	<i>Funciones de pertenencia</i>	4
2.2.3	<i>Reglas difusas</i>	5
2.2.4	<i>Base de reglas</i>	5
2.3	Sistemas de control.....	5
2.3.1	<i>Sistema discreto</i>	6
2.3.2	<i>Sistema de control continuo</i>	6
2.4	Interfaz Hombre Máquina (HMI).....	7
2.5	Sistema SCADA.....	8
2.5.1	<i>Componentes de un sistema SCADA</i>	9
2.5.2	<i>Funciones principales</i>	10
2.5.3	<i>Objetivos de un sistema SCADA</i>	11
2.6	Medios de transferencia de datos aplicados en un sistema SCADA.....	11
2.6.1	<i>Cable de par trenzado</i>	11
2.6.2	<i>Sistemas de enlaces de radio</i>	12
2.6.3	<i>Sistemas basados en redes satelitales</i>	12
2.7	Software LabVIEW.....	12
2.7.1	<i>Instrumentos virtuales (VI)</i>	13
2.7.2	<i>Panel frontal</i>	13
2.7.3	<i>Barras de menús y herramientas de la ventana del panel frontal</i>	13
2.7.4	<i>Paleta de herramientas</i>	14
2.7.5	<i>Paleta de funciones</i>	15
2.7.6	<i>Estructuras</i>	15
2.7.7	<i>Diagrama de bloques</i>	17
2.8	Herramientas de la lógica difusa (FuzzyLogicToolkit).....	17
2.8.1	<i>Controlador difuso (FL FuzzyController VI)</i>	18
2.9	Captura de variables o adquisición de datos.....	19
2.9.1	<i>Transductor o Sensor</i>	19
2.9.2	<i>Clasificación de los Transductores</i>	19
2.9.3	<i>Aplicaciones de los Transductores</i>	20
2.9.4	<i>Selección de Transductores</i>	20
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	
3.1	Diseño del sistema.....	21

3.2	Invernadero	22
3.3	Parámetros a controlar	24
3.3.1	<i>Temperatura invernadero</i>	24
3.3.2	<i>Humedad interna sistema invernadero</i>	24
3.4	Sistemas de riego en invernaderos.....	24
3.4.1	<i>Riego por aspersion</i>	25
3.4.2	<i>Riego por goteo</i>	25
3.5	Temperatura.....	25
3.5.1	<i>Unidades de medida de temperatura</i>	25
3.5.2	<i>Medición de temperatura</i>	27
3.6	Intercambio térmico.....	28
3.6.1	<i>Conducción</i>	29
3.6.2	<i>Convección</i>	29
3.6.3	<i>Radiación</i>	30
3.7	Humedad.....	30
3.7.1	<i>Humedad Absoluta</i>	30
3.7.2	<i>Humedad relativa</i>	30
3.7.3	<i>Medición de humedad</i>	31
3.8	Relación entre la temperatura y la humedad relativa del ambiente	32
3.9	Procesos de acondicionamiento de aire	32
3.9.1	<i>Calentamiento ($\omega = \text{constante}$)</i>	32
3.9.2	<i>Calentamiento con Humidificación</i>	32
3.9.3	<i>Enfriamiento con deshumidificación</i>	33
3.10	Estructura de sistema de control de temperatura y humedad	33
3.10.1	<i>Calefacción</i>	34
3.10.2	<i>Captación de datos</i>	34
3.10.3	<i>Sistema de Ventilación</i>	36
3.10.4	<i>Sistema de Riego</i>	36
3.11	Componentes del sistema de tablero de control	38
3.11.1	<i>Adquisición de Datos</i>	38
3.11.2	<i>Características de la tarjeta NI USB 6009</i>	38
3.11.3	<i>Relés electromagnéticos ly2</i>	40
3.11.4	<i>Relé de estado sólido</i>	40
3.11.5	<i>Circuito integrado lm324</i>	41
3.11.6	<i>Transistor TIP 31C</i>	42
3.11.7	<i>Pulsadores</i>	42
3.11.8	<i>Luces indicadoras</i>	43
3.11.9	<i>Regulador de temperatura</i>	43
3.11.10	<i>Fuentes de alimentación</i>	44
3.11.11	<i>Elementos de protección</i>	44
3.11.12	<i>Cableado eléctrico</i>	44
3.11.13	<i>Placas electrónicas</i>	44
3.12	Montaje de equipos para el control de temperatura y humedad	45
3.12.1	<i>Montaje del tablero de control</i>	46
3.12.2	<i>Montaje del sistema de riego</i>	47
3.12.3	<i>Montaje de la bomba</i>	47
3.12.4	<i>Montaje de los sensores</i>	47
3.12.5	<i>Montaje de ventiladores</i>	48
3.13	Desarrollo y programación del software de monitoreo y control	49
3.14	Creación de la base de reglas en el diseñador de sistema Fuzzy	49

3.14.1	<i>Identificar las variables de dominio</i>	49
3.14.2	<i>Establecer las reglas.</i>	50
3.14.3	<i>Reglas FuzzyDesigner.</i>	50
3.15	<i>Desarrollo del interfaz de control y monitoreo</i>	51
3.15.1	<i>Interfaz desarrollo en LabVIEW</i>	51
3.16	<i>Diagrama de bloques</i>	52
3.16.1	<i>Diagrama de bloques control Fuzzy</i>	52
3.16.2	<i>Diagrama de bloques control manual</i>	54
3.16.3	<i>Diagrama de bloques tablero de control</i>	54
3.17	<i>Adquisición de datos de proceso</i>	55
3.17.1	<i>Adquisición de datos de sensores de temperatura y humedad mediante el modo manual</i>	55
3.17.2	<i>Adquisición de datos de sensores de temperatura y humedad mediante el modo Fuzzy</i>	55
3.18	<i>Verificación de accionamiento de la servo válvula</i>	56
3.18.1	<i>Verificación de funcionamiento de servo válvula mediante el modo manual</i> ..	56
3.18.2	<i>Verificación de funcionamiento de servo válvula mediante el modo Fuzzy</i>	57
3.19	<i>Práctica de laboratorio medición y control Fuzzy de temperatura y humedad</i> 57	
4.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	
4.1	<i>Elaboración del manual de operación</i>	63
4.1.1	<i>Información técnica</i>	63
4.1.2	<i>Operación</i>	67
4.2	<i>Elaboración del manual de mantenimiento</i>	69
4.2.1	<i>Importancia de un manual de mantenimiento industrial</i>	69
4.3	<i>Tareas de mantenimiento</i>	69
4.3.1	<i>Tanque o depósito de agua</i>	69
4.3.2	<i>Bomba</i>	70
4.3.3	<i>Tuberías y accesorios.</i>	70
4.3.4	<i>Tablero de control</i>	70
4.3.5	<i>Válvula proporcional</i>	70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	<i>Conclusiones</i>	72
5.2	<i>Recomendaciones</i>	73

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Variables Lingüísticas 4
2	Descripción de paleta de herramientas 14
3	Estructuras LabVIEW 16
4	Clasificación de los Transductores 19
5	Módulo invernadero 21
6	Conversión de unidades de temperatura 26
7	Características de sensor de temperatura LM35 35
8	Especificaciones técnicas del HIH-4000-001 35
9	Características y aplicaciones de sensor de humedad HIH-4000 36
10	Características de una válvula solenoide proporcional 37
11	Características y aplicaciones válvula de pie 37
12	Características de la tarjeta NI USB 6009 39
13	Descripción de las señales de los pines de NI-DAQ USB 6009 39
14	Características generales del relé ly2 40
15	Características del circuito integrado lm324 42
16	Variaciones de temperatura y humedad Santo Domingo de los Colorados 49
17	Matriz Mandami 50
18	Elementos utilizados programación FuzzyLogic 53
19	Práctica de laboratorio 1 57
20	Práctica de laboratorio 2 58
21	Prácticas de laboratorio modo Fuzzy 61
22	Datos técnicos del sensor de temperatura lm35 63
23	Datos técnicos de la electroválvula proporcional 64
24	Datos técnicos de la DAQ USB-6009 65
25	Sensor de humedad HIH-4000-001 66
26	Datos técnicos bomba de agua 67
27	Banco de tareas de mantenimiento 71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Funcionamiento de un sistema difuso 3
2	Componentes de un sistema difuso 4
3	Funciones de pertenencia..... 5
4	Base de reglas 5
5	Control discreto 6
6	Gráfica de control discreto 6
7	Diagrama de cambio de variables en control continuo..... 6
8	Control en bucle abierto 7
9	Control en bucle cerrado..... 7
10	Interfaz hombre máquina..... 8
11	Esquema básico de un sistema SCADA 8
12	Esquema de los elementos de un sistema SCADA..... 9
13	Cable par trenzado 11
14	LabVIEW 2015..... 12
15	Instrumentos virtuales..... 13
16	Panel frontal..... 13
17	Paleta de herramientas 14
18	Paleta de funciones 15
19	Estructuras 15
20	Estructuras booleanas 16
21	Funciones de comparación y numéricas 17
22	Diagrama de bloques 17
23	Librería de FuzzyLogic para LabVIEW 18
24	FL FuzzyController (SISO) 18
25	FL FuzzyController (SIMO)..... 18
26	FL FuzzyController (MISO)..... 18
27	FL FuzzyController (MIMO) 19
28	Transductor o sensor..... 19
29	Diseño del sistema de control de temperatura y humedad 22
30	Prototipo invernadero 22
31	Ciclo de funcionamiento del invernadero..... 23
32	Riego por aspersión invernaderos..... 24
33	Equilibrio térmico..... 25
34	Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura..... 26
35	Partes de la termocupla industrial..... 27
36	Integrado lineal 28
37	Transferencia de calor por conducción..... 29
38	Transferencia de calor por convección 29
39	Transferencia de calor por radiación 30

40	Diagrama psicométrico	30
41	Calentamiento del aire	32
42	Calentamiento con humidificación	32
43	Enfriamiento por deshumidificación	33
44	Estructura	33
45	Sensor LM35	34
46	Sensor de Humedad HIH-4000.....	35
47	Ventiladores y extractores	36
48	Válvula Solenoide Proporcional EV260B	36
49	Válvula de pie	37
50	Aspersores	37
51	NI USB 6009	38
52	Pines de tarjeta DAQ USB 6009	39
53	Relés camscoly2	40
54	Relé de estado solido	41
55	Circuito integrado lm324.....	41
56	Símbolos de transistores	42
57	Pulsador de marcha y paro de emergencia	43
58	Luces indicadoras	43
59	Termostato	43
60	Fuentes de alimentación	44
61	Diagrama de control de la válvula proporcional	45
62	Diagrama de control y potencia de los actuadores	45
63	Montaje de equipos en módulo de control.....	46
64	Circuito de control inicio-paro de emergencia	46
65	Tablero de control.....	46
66	Instalación del sistema de control de riego.....	47
67	Bomba de agua milano	47
68	Sensores de humedad.....	48
69	Sensores de temperatura	48
70	Instalación del sistema de enfriamiento por aire	48
71	Variable de dominio	50
72	Reglas FuzzyDesigner	51
73	Interfaz del usuario	51
74	Panel de control	52
75	Diagrama de bloques Fuzzylogic	53
76	Diagrama de bloques control manual	54
77	Diagrama de bloque paro del sistema.....	54
78	Verificación de sensores de modo manual	55
79	Datos del proceso modo Fuzzy.....	56
80	Control de accionamiento manual de servo válvula.....	56
81	Modo Manual	59
82	Control manual de actuadores	60
83	Modo Fuzzy.....	62

LISTA DE ABREVIACIONES

SCADA	Supervisión Control y Adquisición de Datos
HMI	Interfaz Hombre – Máquina
DAQ	Tarjeta de Adquisición de Datos
LABVIEW	Laboratorio de Ingeniería Virtual Instrumentación

LISTA DE ANEXOS

- A** Datos de calibración de fábrica
- B** Serie HIIH-4000 circuito de aplicación típico
- C** Características de los diferentes tipos de válvulas proporcionales danfoss
- D** Especificaciones técnicas electroválvula
- E** Diagrama de capacidad de agua con la válvula completamente abierta
- F** NI USB 6009
- G** Cotización de válvula solenoide proporcional
- H** Aplicación del sensor de temperatura
- I** Aplicación del transistor 2N3904
- J** Diagrama del circuito del relé de estado solido

RESUMEN

El control de procesos de manera inteligente ha venido innovando y creciendo sumamente rápido en todas las naciones industrializadas. El trabajo está basado en el diseño y construcción de un módulo de control de temperatura y humedad en un ambiente de control difuso, que es programado en la plataforma LabVIEW con sus herramientas de control Fuzzy, sistema que cuenta con elementos que permiten controlar temperatura y humedad.

Investigaciones previas de variables climatológicas que se produce en el Ecuador permitieron determinar los niveles de temperatura y humedad de ambientes reales, que son determinantes para la formulación de reglas lógicas, estos fueron ingresados dentro del programa realizado en LabVIEW para la simulación del control Fuzzy.

Se utilizaron sensores de temperatura y humedad comerciales que proporcionan una señal de voltaje baja que es leída por la tarjeta de adquisición de datos NI USB DAQ 6009, que procesa y entrega otra señal esta es enviada a una etapa de potencia que enciende los diferentes dispositivos eléctricos que permiten el accionamiento de los sistemas de calentamiento, enfriamiento y extracción de temperatura y humedad, realizando las etapas de control según las reglas lógicas ingresadas dentro del sistema.

El módulo diseñado cuenta con su respectivo manual de operación y mantenimiento, esto permite dar un buen manejo y conocer las tareas y frecuencias de mantenimiento que se realiza a cada elemento de control para que los mismos no sufran deterioro.

Recomendamos tener una previa capacitación con el personal que estará a cargo del uso eficiente del programa, se darán las instrucciones pertinentes y se le otorgará el manual de usuario del programa.

ABSTRACT

Process control of Smart way has been innovating and growing extremely rapid in all industrialized nations. The research is based on the design and construction of a temperature and humidity control module in an atmosphere of fuzzy control which is programmed in LabView platform with their fuzzy control tools, the system has elements that allow controlling the temperature and humidity.

Previous research of climate variables produced in Ecuador allowed determining the temperature and humidity levels in real environments which are crucial for the development of logical rules; the same were integrated into the program developed in LabView for the simulation of fuzzy control.

Temperature and humidity commercial sensors were used that provide a low signal voltage which is read by the data NI USB DAQ 6009 acquisition card which processes and delivers another signal. This signal is sent to a power stage that ignites the various electrical devices enabling the drive of heating systems, cooling and the temperature and humidity extraction by performing the control stages according to logic rules entered within the system.

The module has its respective operating and maintenance manual. This allows having a good management and knowing the tasks and frequencies of maintenance which are performed on each control element in order to avoid their damage.

It is recommended having prior training to the staff that will be responsible of the efficient program use. Relevant directions and the program user manual will be awarded.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La gran mayoría de los procesos industriales requieren equipos de control cada vez más óptimos que permitan tener un dominio sobre todas las variables físicas que estos manejan.

Para efectuar el control de diferentes variables como son temperatura y humedad de forma más rápida y fiable National Instruments posee equipos que permite realizar estas actividades de la manera más adecuada, además se puede realizar programaciones personalizadas usando la plataforma gráfica LabVIEW, empleada en las grandes industrias.

Para que el laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, esté acorde con el desarrollo tecnológico, es necesario implementarlo con equipos industriales de última tecnología que nos permita realizar el control de diferentes procesos esto ayuda a que el estudiante obtenga los conocimientos adecuados y participe con efectividad en la solución de problemas de índole industrial.

1.2 Justificación

Dentro de la misión de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento se encuentra formar Ingenieros de Mantenimiento, idóneos, competitivos y emprendedores, mediante la construcción de un módulo para el Control Fuzzy de temperatura y humedad utilizando un Sistema Scada para el Laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, se aporta a la transformación de la educación superior, logrando así la transferencia de conocimiento a través de ciencia, tecnología e innovación, además, contribuyendo con el desarrollo integral y sustentable del país en consideración a las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir. La escuela al momento cuenta con equipos relacionados con el control de temperatura y humedad pero se hace necesaria la complementación tecnológica mediante el uso del software y sistemas.

Mejorando así la calidad de la educación y transformando los conocimientos teóricos en prácticos.

La realización de esta tesis busca cumplir con los objetivos de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y formar profesionales calificados para el desarrollo técnico, científico, social y económico del país.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un módulo para el Control Fuzzy de temperatura y humedad, utilizando un Sistema Scada para el Laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos Específicos:*

- Experimentar en tiempo real el sistema de control de temperatura y humedad.
- Profundizar la utilización de las herramientas del software Scada.
- Elaborar un manual de guías para la utilización del equipo.
- Realizar la donación del módulo para el Control Fuzzy de temperatura y humedad utilizando un Sistema Scada para el Laboratorio de Control y Manipulación Automática, con el cual los estudiantes podrán realizar sus prácticas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la lógica difusa

La lógica difusa permite trabajar con información imprecisa que es utilizada en el control de procesos industriales, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos, se la utiliza dentro de la electrónica de entretenimiento y hogar, aunque fue creada en Estados Unidos, el aumento rápido de esta tecnología ha comenzado desde Japón en donde la investigación sobre lógica difusa es apoyada ampliamente con un presupuesto enorme, por ejemplo, la NASA emplea lógica difusa para el complejo proceso de maniobras de acoplamiento.

La idea de la lógica difusa es poder gobernar un sistema o un proceso por medio de reglas de sentido común que pueden ser formuladas por la inteligencia humana, desde hace una década y media la búsqueda de patentes industriales de mecanismos basados en la lógica difusa tiene un crecimiento sumamente rápido en todas las naciones industrializadas (EDUARDO, 2013).

2.2 Sistema difuso

Un sistema difuso utiliza reglas definidas para gobernar un proceso en base a los valores actuales de variables de entrada, un sistema difuso requiere por lo menos una variable lingüística de entrada y una variable lingüística de salida.

Figura 1. Funcionamiento de un sistema difuso

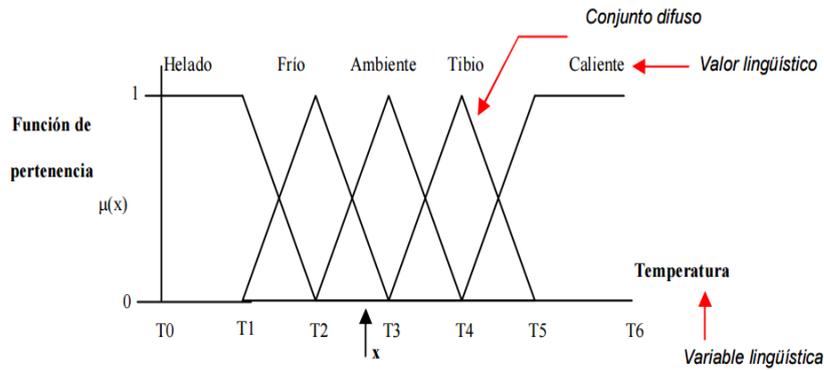


ENTORNO FÍSICO

Fuente: (LIBRES, 2016)

El sistema difuso constan de tres partes principales: variables lingüísticas, funciones de pertenencia, y reglas difusas, estos elementos son los que determinan las reglas adecuadas para el control de procesos.

Figura 2. Componentes de un sistema difuso



Fuente: (CATARINA, 2013)

Se puede definir que un sistema basado en lógica difusa actúa como lo haría una persona que tuviera que reaccionar bajo términos imprecisos, se basa en reglas de término si entonces como se detalla a continuación.

Si la temperatura es calurosa entonces se ha de acelerar el ventilador.

2.2.1 Variables lingüísticas. Representan las variables de entrada y variables de salida del sistema que desea controlar.

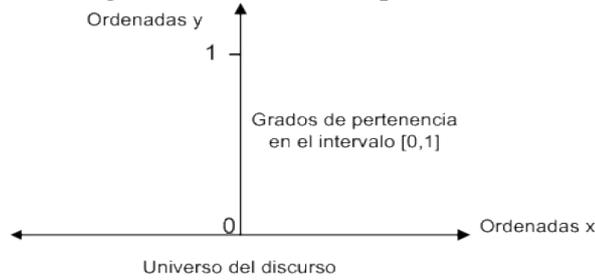
Tabla 1. Variables Lingüísticas

Lógica difusa	Intervalo difuso		
Variables lingüísticas	9-10	5	0-1
	Valor lingüístico		
Satisfacción del personal	Satisfecho	Algo	Insatisfecho
Aprendizaje	Mucho	Medio	Poco
Clima Organizacional	Favorable	Menos Favorable	Desfavorable

Fuente:(UVIGO, 2011)

2.2.2 Funciones de pertenencia. Son funciones numéricas correspondientes a términos lingüísticos, las funciones de pertenencia son una forma de representar gráficamente un conjunto difuso sobre un universo, el grado de pertenencia es continua entre 0 y 1, donde 0 es igual a 0 % de miembros y 1 es igual al 100 % de miembros.

Figura 3. Funciones de pertenencia



Fuente: (OLMO, 2015)

2.2.3 Reglas difusas. Las reglas difusas son proposiciones o palabras que permiten expresar el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedentes o variables de entrada y consecuentes o variables de salidas basados en términos lingüísticos, por ejemplo, se puede definir la siguiente regla.

Si la temperatura actual es fría y la temperatura deseada es moderada, entonces el entorno del calentador es bajo.

2.2.4 Base de reglas. Es el conjunto de reglas para un sistema difuso, equivale a la estrategia de control del proceso o sistema, es la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico que le permiten resolver el problema para el cual ha sido diseñado, estas reglas son del tipo si-entonces, una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y el consecuente.

Figura 4. Base de reglas



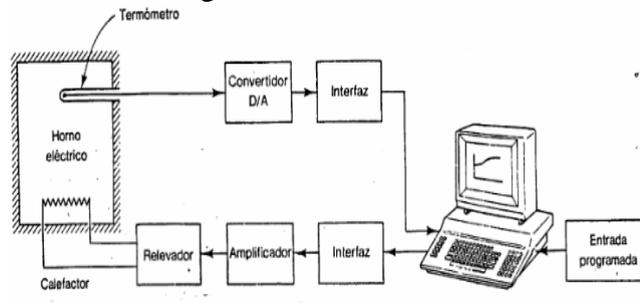
Fuente: Autores

2.3 Sistemas de control

Programa de ordenador o dispositivo electrónico que calcula las acciones a ejercer sobre un sistema para obtener un comportamiento deseado, los sistemas de control se dividen en dos grandes grupos, sistemas de control en tiempo continuo y en tiempo discreto.

2.3.1 *Sistema discreto.* El sistema en tiempo discreto viene caracterizado por magnitudes que varían solo en instantes específicos de tiempo, incluye un computador digital en el bucle de control para realizar un procesamiento de señal.

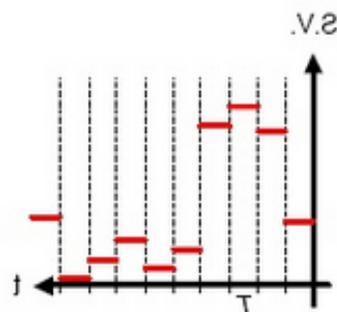
Figura 5. Control discreto



Fuente:(IZA, 2011)

Los sistemas en tiempo discreto no están descritos de forma continua en el tiempo, se caracteriza por que sus magnitudes varían solo en instantes específicos.

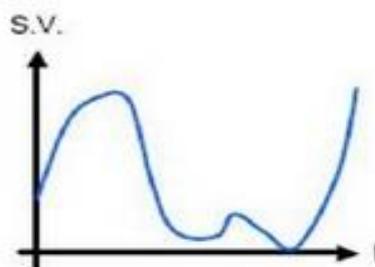
Figura 6. Gráfica de control discreto



Fuente: (MARTINEZ, 2011)

2.3.2 *Sistema de control continuo.* Este tipo de control muestra el cambio de sus variables en relación al tiempo se da cuando se emplea un dispositivo electrónico.

Figura 7. Diagrama de cambio de variables en control continuo

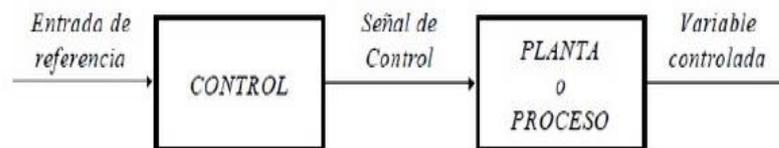


Fuente: (MARTINEZ, 2011)

2.3.3 Clasificación de los sistemas de control. Los sistemas de control que se nombran a continuación son importantes debido a las acciones de control que ejercen sobre un proceso.

- Control en bucle abierto. No comprueban los resultados de las acciones ejercidas sobre un sistema o proceso.

Figura 8. Control en bucle abierto

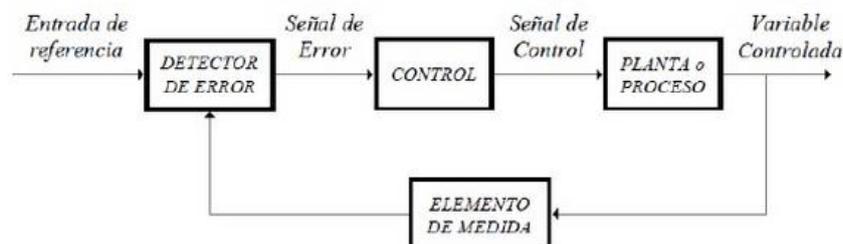


Fuente: (GOMEZ, 2011)

- Control en bucle cerrado. Son sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida, los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control.

Comprueban continuamente los resultados de las acciones ejercidas sobre un proceso o sistema y si es necesario corregirlos.

Figura 9. Control en bucle cerrado



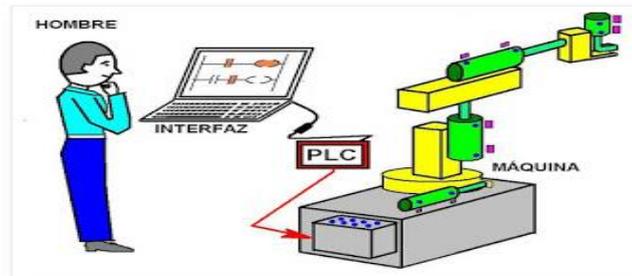
Fuente: (GOMEZ, 2011)

2.4 Interfaz Hombre Máquina (HMI). (EDGAR, 2010)

Se denomina interfaz hombre máquina porque los operadores del proceso interactúan con el sistema de control, de tal manera que les proporcione la suficiente información en el momento que se necesite.

Todo proceso que se requiera controlar y automatizar tiene que ser monitorizado, existen casos en las que se debe sensar temperatura, presión, posición, flujo velocidad, proximidad, estas tareas deben realizarse con elementos de medición que se les denomina sensores.

Figura 10. Interfaz hombre máquina

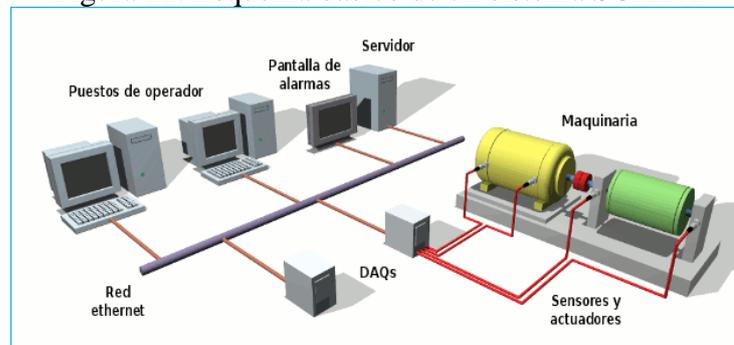


Fuente: (PACO, 2013)

2.5 Sistema SCADA

Un SCADA es un software de aplicación especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Figura 11. Esquema básico de un sistema SCADA



Fuente: (SINAIS, 2013)

Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

La ejecución en tiempo real significa que un dispositivo de medida es capaz de mostrar el valor de una variable en el instante preciso en que la misma efectivamente tiene ese valor.

2.5.1 Componentes de un sistema SCADA. Se pueden ubicar a los componentes de un SCADA en dos grupos principales.

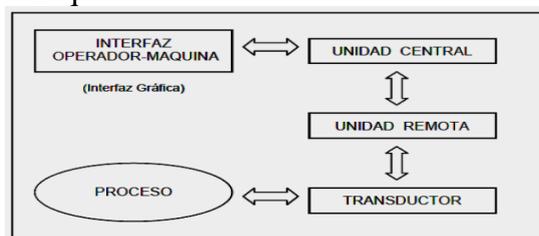
2.5.1.1 Hardware. Presentan algunos componentes básicos para implementarlos en un sistema SCADA.

- Unidad terminal maestra (MTU): Es el computador principal del sistema que cumple la función de supervisión y recolección de la información.
- Unidad remota de telemetría (RTU): Es un dispositivo instalado en una localidad remota del sistema.

Esta unidad posee canales de entrada para la medición de las variables dentro de los procesos y de canales de salida para control, activación de alarmas y puerto de comunicaciones.

- Red de comunicación: El sistema de comunicación transmite la información entre la planta y el hardware del sistema SCADA.
- Dispositivos de campo: Son todos aquellos equipos que permiten realizar la automatización o control del sistema (PLC's, controladores industriales, sensores, actuadores etc.)

Figura 12. Esquema de los elementos de un sistema SCADA



Fuente: Autores

2.5.1.2 Software. Los módulos o bloques software son aquellos que permiten la adquisición, supervisión y control de los datos, entre los principales se encuentran:

- Configuración: Permite al usuario definir el entorno de trabajo, adaptándolo a la aplicación que se desea desarrollar.

- Interfaz Gráfico del Operador: Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante gráficos sinópticos de todo el proceso.
- Módulo de Proceso: Ejecuta las acciones de mando pre programado a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel.
- Gestión de Archivo de Datos: Se encarga de almacenar y procesar los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicación: Se encarga de la transferencia de información entre la planta y el hardware del sistema SCADA.

2.5.2 *Funciones principales.* A continuación se detalla las funciones principales realizadas por un sistema SCADA. (LUIS, 2007)

- Supervisión: El operador podrá observar desde el monitor la evolución de las variables de control y los cambios que se produzcan en el sistema.
- Control: Mediante el sistema SCADA se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. El operador puede ejecutar acciones de control y podrá modificar la evolución del proceso en situaciones irregulares que se generen.
- Adquisición de datos: Recolecta, procesa, almacena y muestra la información recibida en forma continua desde los equipos de campo.
- Generación de reportes: Representaciones gráficas, control estadístico, etc.
- Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable, estas pueden ser tanto visuales como sonoras.

2.5.3 *Objetivos de un sistema SCADA.* Debe cumplir con los siguientes objetivos.

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa.
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

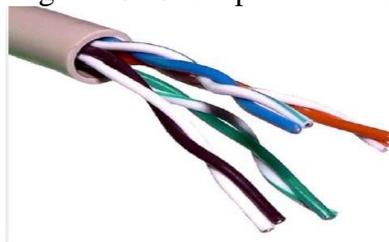
2.6 Medios de transferencia de datos aplicados en un sistema SCADA

La efectividad y confiabilidad operacional de un sistema SCADA depende en gran medida de la transmisión de datos entre la estación maestra y las unidades terminales remotas, por lo tanto debe ser provisto de un medio a través del cual se establezca el intercambio de datos entre éstas unidades de una forma coordinada, confiable y segura.

Para establecer el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación maestra sólo se requiere un medio de comunicación, como por ejemplo una línea telefónica, un radio enlace, un enlace de microondas o satelital, cable coaxial o fibra óptica.

2.6.1 *Cable de par trenzado.* Este soporte es basado en hilos de cobre o aluminio, de sección relativamente pequeña, inferior a 1 mm de diámetro, vienen en pares de cables trenzados con el objetivo de minimizar la interferencia eléctrica y evitar daño en la información, son de colores para ser identificados, protegidos por una cubierta aislante por lo general de PVC (Policloruro de vinilo). (2014)

Figura 13. Cable par trenzado



Fuente:(CARLOS, 2011)

2.6.2 *Sistemas de enlaces de radio.* Son aquellos que recolectan la información directamente de los sensores, medidores o equipamiento de campo, normalmente están localizadas cerca de los procesos monitoreados y transfieren información a los sistemas de control.

Estos dispositivos admiten y procesan información análoga y digital, transmitiendo toda esta información a una estación de monitoreo central.

2.6.3 *Sistemas basados en redes satelitales.* Este tipo de sistemas están orientados principalmente a la transferencia de datos entre unidades remotas RTU y Centros de proceso conectados al HUB (estación central), están basados en sistemas VSAT que son redes de comunicación vía satélite.

2.7 Software LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla, LabVIEW es un revolucionario ambiente de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones y presentaciones de datos.

Es principalmente utilizado por los ingenieros para el manejo de datos generados por la comunicación entre una computadora y un aparato o circuito externo siendo una excelente opción para proyectos grandes donde se requieran conocimientos de programación, electrónica, mecánica, robótica, etc. (STEPANENKO, 2013)

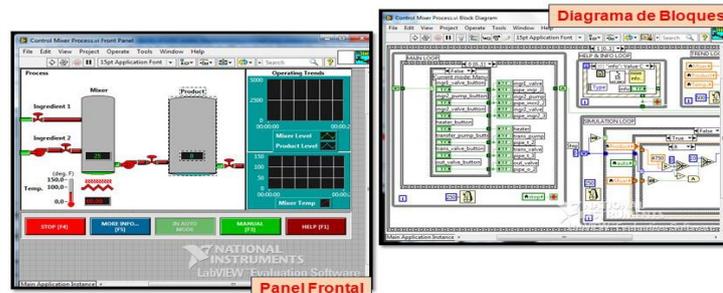
Figura 14. LabVIEW 2015



Fuente: Autores

2.7.1 Instrumentos virtuales (VI). Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan instrumentos virtuales (VI), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real tal como osciloscopios y multímetros, se encuentran constituidos por el panel frontal y el diagrama de bloques.

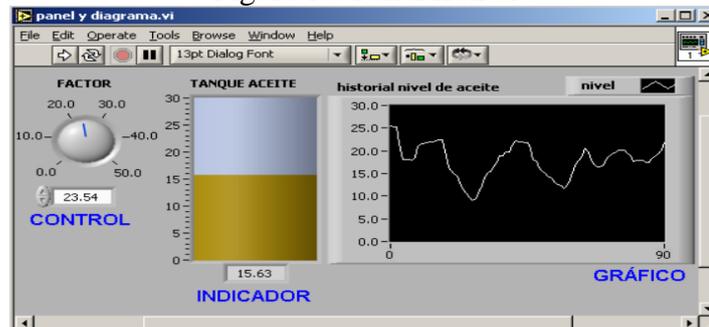
Figura 15. Instrumentos virtuales



Fuente:(INSTRUMENTS, 2014)

2.7.2 Panel frontal. El panel frontal es aquel en donde los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real, se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario, esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa, un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Figura 16. Panel frontal



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

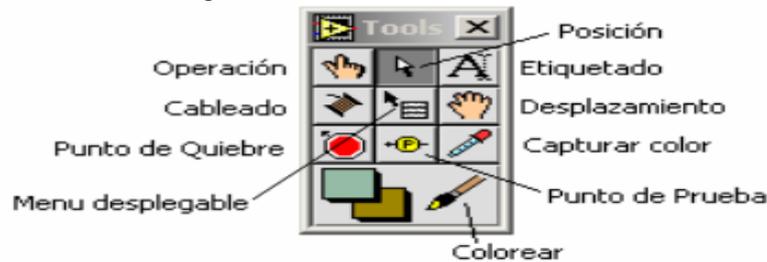
2.7.3 Barras de menús y herramientas de la ventana del panel frontal. La barra de menús que presenta LabVIEW en la parte superior de un VI contiene diversos menús desplegables que cumplen diferentes funciones en las que se detalla a continuación. (2015)

- File: Las opciones de este menú son para realizar las operaciones estándar con archivos como abrir, guardar, imprimir, salir.

- Edit: Operaciones de edición en el VI, como cortar, copiar, pegar, búsqueda.
- Operate: Control de la ejecución del archivo activo, como ejecutar, parar, cambiar a modo de ejecución.
- Tools: Varias utilidades como guía de soluciones DAQ, historial del VI.
- Browse: Menú para ver diversos aspectos del vi actual, como archivos que llaman al VI, los subVI que utiliza este VI, puntos de ruptura.
- Window: Acceso y personalización de diferentes vistas del vi, como ver diagrama, ver lista de errores, y opciones para las paletas y ventanas.
- Help: Acceso a varios tipos de ayuda, ejemplos de VI y enlaces a los recursos de ayuda de National Instrument en internet.

2.7.4 Paleta de herramientas. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.

Figura 17. Paleta de herramientas



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

Tabla 2. Descripción de paleta de herramientas

Herramienta	Descripción
	Operación: Asigna valores a los controles del panel frontal, se encuentra disponible cuando se corre y edita la aplicación.
	Posición: Selecciona, mueve y redimensiona objetos.
	Etiquetado: Crea y edita textos tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques.

Tabla 2. Continuación

	Cableado: Se utiliza para generar la estructura lógica de eventos mediante la conexión de los terminales de cada objeto.
	Desplazamiento: Mueve todos los objetos dentro de la ventana activa
	Punto de quiebre: Detiene la ejecución del programa en el punto del diagrama donde se ponga.
	Colorear: Cambia los colores de objetos y fondos.

Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

2.7.5 Paleta de funciones. Se usa únicamente en el diagrama de bloques y contiene todos los objetos para crear y editar el código fuente.

Figura 18. Paleta de funciones



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

2.7.6 Estructuras. Una estructura es un elemento de control del programa, las estructuras controlan el flujo de datos en un VI.

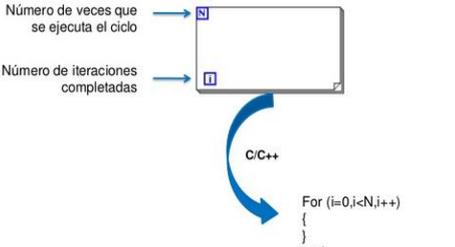
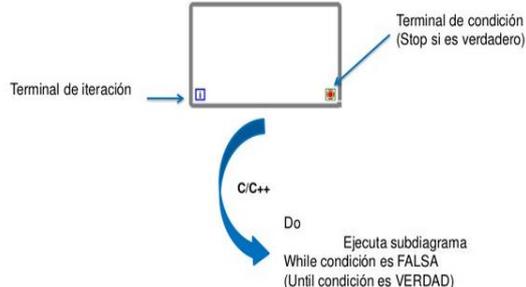
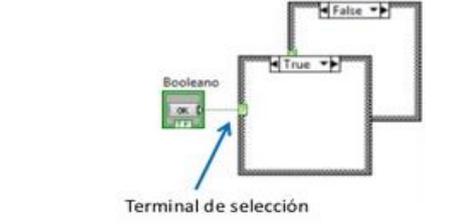
Figura 19. Estructuras



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

A continuación de detalla las estructuras comúnmente utilizadas en LabVIEW.

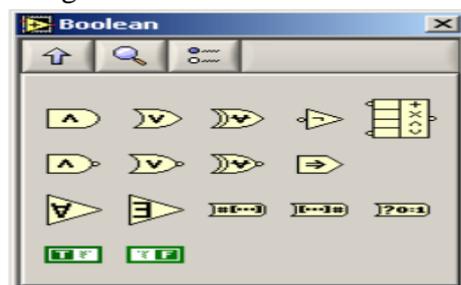
Tabla 3. Estructuras LabVIEW

Estructura	Descripción
	<p>For Loop. Ejecuta el código dentro de sus bordes un número definido de veces.</p>
	<p>While Loop. Ejecuta el código dentro de sus bordes indefinidamente hasta que el valor booleano cableado a la terminal de condición sea verdadero.</p>
	<p>Case. Una estructura Case, son dos o más subdiagramas de manera que solo uno de ellos se ejecuta (el que cumpla la condición).</p>

Fuente: Autores

- Estructura booleanas: Son aquellas que ejecutan operaciones lógicas en valores booleanos, sus aplicaciones incluyen representar datos digitales y servir como un control de panel frontal que actúa como un conmutador que tiene una acción mecánica generalmente usada para controlar una estructura de ejecución como una estructura de Case, puede ser usado en LabVIEW para representar un 0 o 1 o un TRUE o FALSE.

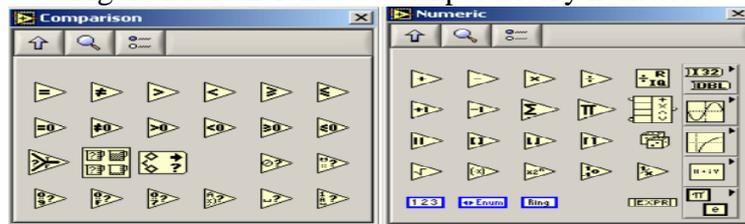
Figura 20. Estructuras booleanas



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

- Funciones de comparación y numéricas: Se usan las funciones numéricas para crear y ejecutar operaciones aritméticas, trigonométricas, logarítmicas y complejas, también para convertir números de un tipo a otro, las funciones de comparación utilizan los valores booleanos, de hileras, numéricos, arreglos y clusters y los ponen en comparación.

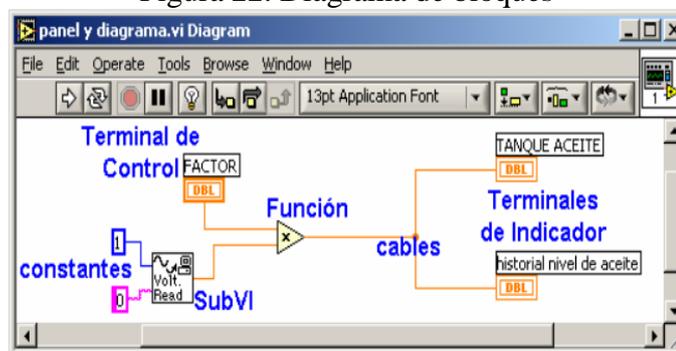
Figura 21. Funciones de comparación y numéricas



Fuente: Autores

2.7.7 Diagrama de bloques. El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI, en el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. (ESPARZA, 2002)

Figura 22. Diagrama de bloques



Fuente:(INSTRUMENTS, 2014)

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si se tratara de un circuito, los cables unen terminales (control e indicador) de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos.

2.8 Herramientas de la lógica difusa (FuzzyLogicToolkit)

La librería de lógica difusa de LabVIEW cuenta con VI listos para su aplicación en la programación de controladores difusos.

Figura 23. Librería de FuzzyLogic para LabVIEW

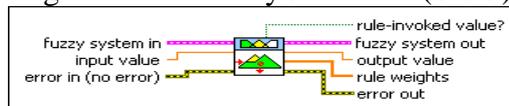


Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

2.8.1 Controlador difuso (FL FuzzyController VI). Los controladores difusos, toman el valor de las variables de entrada, procesan, y actúan sobre sus salidas a fin de controlar un proceso pueden aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en modelos matemáticos que sean muy complejos.(INSTRUMENTS, 2014).

- FL FuzzyController (SISO): Por defecto, este VI implementa un controlador de lógica difusa para una sola entrada y salida única (SISO).

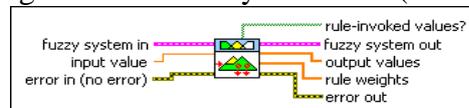
Figura 24. FL FuzzyController (SISO)



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

- FL FuzzyController (SIMO): Implementa un controlador de lógica difusa para una sola entrada múltiple salida (SIMO).

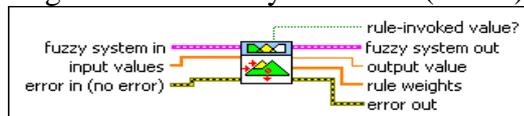
Figura 25. FL FuzzyController (SIMO)



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

- FL FuzzyController (MISO): Implementa un controlador de lógica difusa para una de múltiples entradas y una sola salida (MISO).

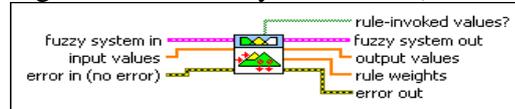
Figura 26. FL FuzzyController (MISO)



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

- FL FuzzyController (MIMO): Implementa un controlador de lógica difusa para una múltiple salida de múltiples entradas (MIMO).

Figura 27. FL FuzzyController (MIMO)



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

2.9 Captura de variables o adquisición de datos

La captura de variables se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto que se desea medir, esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, etc.

2.9.1 *Transductor o Sensor.* Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra, un transductor eléctrico, en particular, convierte la magnitud de una variable física en una señal eléctrica proporcional que puede ser medida. (2013)

Figura 28. Transductor o sensor



Fuente: Autores

2.9.2 *Clasificación de los Transductores.* De acuerdo con su funcionamiento, los transductores se pueden clasificar en analógicos y digitales, los transductores analógicos pueden ser auto generadores o de parámetros variables, los transductores digitales pueden ser de frecuencia variable o digitales.

Tabla 4. Clasificación de los Transductores

Transductores auto generador	Transductores de parámetros variables	Transductores de frecuencia variable	Transductores digitales
Termopares Acelerómetros	Potenciómetro, foto resistencia, termómetro de resistencia de platino.	Alambre vibrante	Transductores Codificadores de posición lineal o angular.

Fuente: Autores

2.9.3 *Aplicaciones de los Transductores.* Los transductores se aplican en un amplio campo de actividades en la industria y en la investigación, sus aplicaciones se pueden resumirse a continuación.

- Monitoreo de procesos: Proporcionan datos en línea que permiten a un operador efectuar manualmente ajustes y controlar el desarrollo del proceso, este es el denominado ajuste en lazo abierto.
- Control de procesos automáticos: Sistemas de lazo cerrado o lazos de control.

2.9.4 *Selección de Transductores.* Para la selección de un transductor se debe conocer los principios físicos de la variable a medir, los dispositivos de medición, sus principios de operación y su dominio de aplicación, en particular los tipos de transductores eléctricos o electrónicos comúnmente utilizados son:

- Para mediciones de presión: Transductor capacitivo, transformador lineal de frecuencia variable, transductor piezoeléctrico, transductor piezoresistivo.
- Para mediciones de nivel de líquidos.- Transductores de desplazamiento, transductores hidrostáticos, transductores de nivel capacitivo, transductores de ultrasonidos.
- Para mediciones de flujo: Transductores de presión, transductores de flujo de desplazamiento positivo, transductores de velocidad del volumen de flujo, etc.
- Para mediciones de temperatura: Termómetro de resistencia, termocuplas, pirómetros, termómetros bimetálicos, termistores.

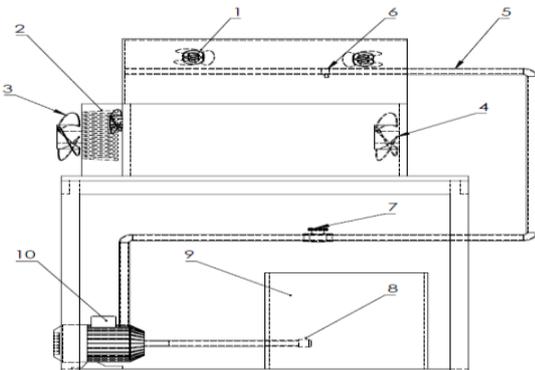
CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

3.1 Diseño del sistema

Previo a la adquisición de datos para el control de temperatura y humedad se realiza el análisis de los elementos requeridos para dicho sistema; esto implica obtener las características necesarias de dichos elementos que se utilizará en el módulo.

Tabla 5. Módulo invernadero

	Módulo del invernadero	Laboratorio de Control y Manipulación Automática
Versión 2016	ESPOCH - Facultad de Mecánica	
Componentes principales invernadero		
		
Partes principales		
1	Extractor	
2	Resistencia térmica	
3	Ventilador de la resistencia	
4	Ventilador de enfriamiento	
5	Tuberías	
6	Aspersor	
7	Válvula proporcional	
8	Válvula de pie	
9	Tanque de agua	
10	Bomba de agua	

Fuente: Autores

El sistema que se utilizó para realizar el control de temperatura y humedad es basado en la estructura de un invernadero en donde se simulará cambios de temperatura.

Figura 29. Diseño del sistema de control de temperatura y humedad



Fuente: Autores

3.2 Invernadero

Un invernadero (o invernáculo) es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.

Figura 30. Prototipo invernadero



Fuente: Autores

Tienen la capacidad de generar condiciones de temperatura y humedad ideales para cultivar plantas durante el invierno, o en sectores donde las condiciones climáticas son muy adversas.

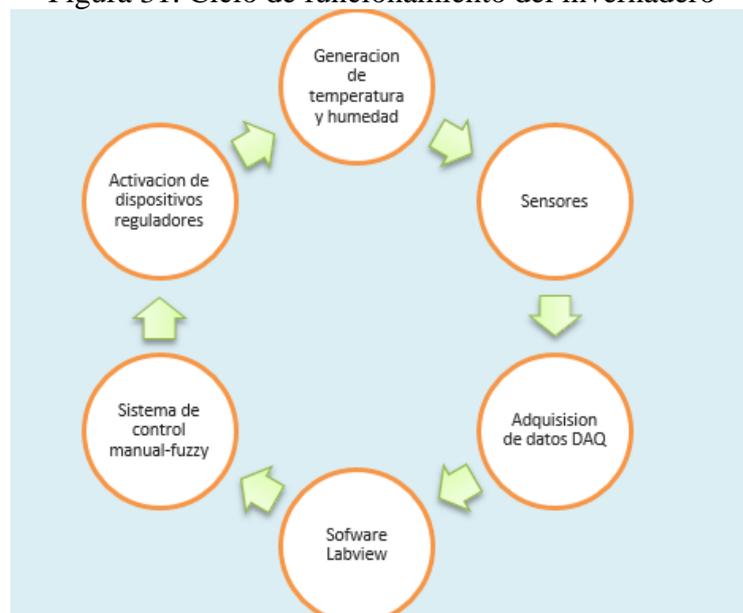
3.2.1 *Ciclo de funcionamiento del invernadero.* Es importante definir el ciclo de funcionamiento del invernadero ya que mediante esto nos permitirá realizar el control de las variables simultáneamente y de manera correcta.

Dentro del ciclo de funcionamiento se produce la generación de temperatura y humedad que es captada por los sensores, los cuales son los encargados de convertir los parámetros a ser medidos o supervisados en señales eléctricas equivalentes, que puedan ser interpretadas por el controlador.

Los datos obtenidos por los sensores son enviados hacia la tarjeta de adquisición, que consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

Todo este proceso se lo realiza dentro del programa Software Labview, con un sistema de control manual fuzzy o automático, para la activación de manera correcta de los diferentes elementos o dispositivos reguladores que integran el ciclo de funcionamiento del invernadero.

Figura 31. Ciclo de funcionamiento del invernadero



Fuente: Autores

3.3 Parámetros a controlar

3.3.1 *Temperatura invernadero.* La temperatura es el factor más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que influye de manera muy alta en el crecimiento y desarrollo de las plantas, normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20 °C, para la obtención y control de datos de la temperatura se cuenta con el sensor de temperatura (LM35), el cual trabaja en un rango de temperatura en escala centígrada que va desde -55 °C hasta 150 °C, la precisión del sensor es de 0.5 °C, mientras que la temperatura incrementa 10 mV por grado centígrado.

3.3.2 *Humedad interna sistema invernadero.* La humedad relativa del aire es un factor climático que puede cambiar el desarrollo final de los cultivos, la humedad relativa óptima depende del tipo de planta que se cultive si bien el rango típico oscila entre el 50 y 70 %, para el control de humedad se cuenta con el sensor de humedad HIH-4000-001 y con una electroválvula encargada de humidificar el sistema.

3.4 Sistemas de riego en invernaderos

El objetivo de controlar el sistema de riego es mantener ciertas magnitudes dentro de un rango establecido, de tal manera que el suministro de agua será solo el necesario para que los cultivos se desarrollen en el invernadero.

Figura 32. Riego por aspersión invernaderos



Fuente: (PLASTIGAMA, 2014)

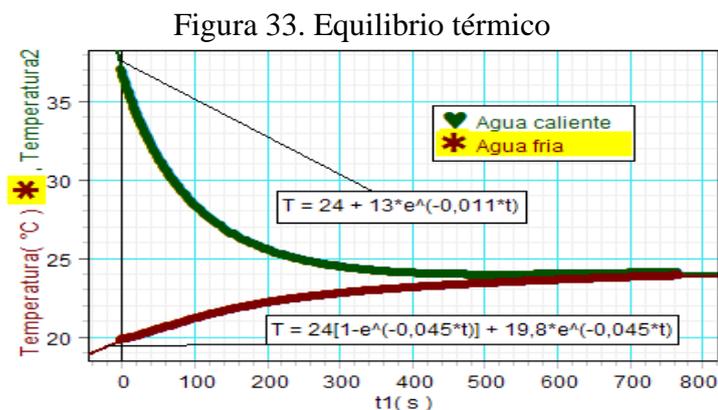
3.4.1 Riego por aspersión. Es una modalidad de riego lo cual el agua llega a las plantas en forma de lluvia localizada más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo que infiltre en el mismo punto donde cae, para ello es necesaria una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores). (MACIAS, 2011)

3.4.2 Riego por goteo. Permite aplicar agua filtrada y fertilizantes sobre el sistema radical del cultivo, el agua es transportada a través de una extensa red de tuberías hasta cada planta donde abandona la línea por emisores en forma de gotas.

Estos emisores son los goteros, los que disipan la presión del sistema por medio de un orificio de pequeño diámetro o por un laberinto de largo recorrido, permitiendo descargar al suelo, desde el sistema, solo unos pocos litros por hora en cada emisor. (GAETE, 2006)

3.5 Temperatura. (MARCO, 2007)

La temperatura es una variable presente en la mayoría de procesos de producción. A menudo se confunden la temperatura con el calor, pero en realidad son dos variables íntimamente ligadas y a la vez diferentes, la temperatura mide el nivel término de un cuerpo, mientras el calor mide la cantidad de energía entregada por ese cuerpo. (MARCO, 2007)



Fuente: (MODELLUS, 2013)

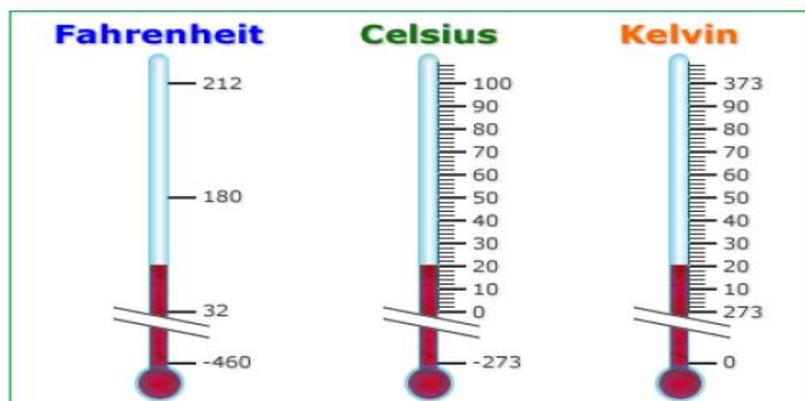
3.5.1 Unidades de medida de temperatura. Las unidades de medida de la temperatura pueden ser absolutas y relativas.

Para la graduación de las escalas de temperatura se utilizan como puntos de referencia los puntos de congelación y de evaporación del agua, en el sistema métrico decimal, la unidad de medida de temperatura es el grado centígrado (°C), el punto de congelación le corresponde a 0 °C y 100 °C para el punto de evaporación del agua, la escala absoluta en este sistema es el grado Kelvin (°K) la graduación del cero absoluto se encuentra a 273 °C por debajo del punto de congelación del agua.

En el sistema inglés, la unidad de medida de temperatura es el grado Fahrenheit (°F), el punto de congelación del agua le corresponde la graduación 32 °F y 212 °F para el punto de ebullición.

A continuación se muestra la relación entre las escalas de temperatura y sus equivalencias.

Figura 34. Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura



Fuente: (ROMAN, 2013)

Una medida de la temperatura en cualquiera de estas escalas puede ser fácilmente convertida a otra, cada una de las tres escalas de temperatura permite medir la energía del calor de una manera ligeramente diferente.

Tabla 6. Conversión de unidades de temperatura

De	Hacia Fahrenheit	Hacia Celsius	Hacia Kevin
°F	°F	$\frac{(F - 32)}{1,8}$	$(°F - 32) * \frac{5}{9} + 273,15$
°C	$(°C * 1,8) + 32$	°C	$C + 273,15$
K	$(°K - 273,15) * \frac{9}{5} + 32$	$°K - 273,15$	°K

Fuente: Autores

3.5.2 Medición de temperatura. La temperatura como variable de proceso está presente en casi todas las actividades industriales como por ejemplo controlar la temperatura en los calderos, hornos de secado de madera, en los procesos térmicos de materiales, cámaras de frío de supermercados, etc.

A continuación se detalla los elementos utilizados comúnmente en toma de datos de temperatura.

- **RTD:** Un termómetro de resistencia es un instrumento utilizado para medir las temperaturas aprovechando la dependencia de la resistencia eléctrica de metales, aleaciones y semiconductores (termistores) con la temperatura. El elemento consiste en un arrollamiento de hilo muy fino, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Son termómetros de respuesta casi inmediata con precisiones de 1% y hasta 0,01% de alcance, pueden estar ubicados hasta 180 m del indicador o registrador.
- **Termocupla:** Básicamente está constituida por dos alambres metálicos diferentes que unidos, desarrollan una diferencia de potencial eléctrica entre sus extremos libres que es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre estas puntas y la unión. Se suelen fabricar con metales puros o aleaciones.

Figura 35. Partes de la termocupla industrial



Fuente: (MAXIMO, 2014)

Están protegidos mediante una funda o cubierta metálica, generalmente de acero inoxidable, cuyo espesor determina la velocidad de respuesta y la robustez de la sonda.

3.6.1 *Conducción.* Es la transferencia de energía a través de un material sólido o materiales que estén en contacto físico directo, la velocidad de conducción de calor a través de un material depende de las propiedades físicas del material (densidad y conductividad), el espesor del material, y la diferencia de temperatura a través del material. La transferencia de calor por conducción puede ser minimizada mediante el uso de materiales que son malos conductores. Por ejemplo; la espuma de poliestireno es un mal conductor térmico mientras que el cobre tiene una conductividad térmica muy alta.

Figura 37. Transferencia de calor por conducción

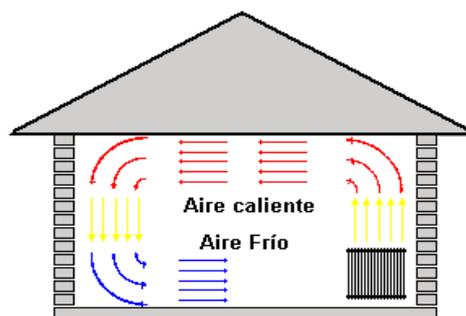


Fuente: (NELLY, 2014)

3.6.2 *Convección.* Es el movimiento físico de los gases o líquidos entre las zonas, a diferentes temperaturas. Por ejemplo, dentro de un invernadero el intercambio de calor por convección se produce cuando el aire caliente sube y transfiere su calor a las superficies frías del material del recubrimiento (que transfiere la energía para el aire exterior por conducción).

Este fenómeno sólo podrá producirse en fluidos en los que por movimiento natural (diferencia de densidades) o circulación forzada (con la ayuda de ventiladores, bombas, etc.) puedan las partículas desplazarse transportando el calor sin interrumpir la continuidad física del cuerpo.

Figura 38. Transferencia de calor por convección



Fuente: (SEVILLA, 2012)

3.6.3 Radiación. El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material, la emisión de estas ondas por un cuerpo y su absorción por otro implica una transmisión de energía que identificamos como calor.



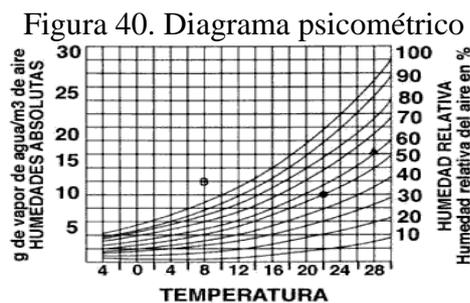
Fuente: (SEVILLA, 2012)

3.7 Humedad

Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

3.7.1 Humedad Absoluta. La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua que se encuentra por unidad de volumen en el aire de un ambiente, normalmente el vapor es medido en gramo y el volumen de aire se mide en metros cúbicos, al medir la humedad absoluta se determina la cantidad de vapor que contiene el aire y si además conocemos la temperatura podemos estimar si el ambiente es capaz de alojar más vapor aún.

3.7.2 Humedad relativa. Humedad relativa, o "RH", mide la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada sin que se produzca ninguna condensación, es decir conservando la misma temperatura y presión atmosférica. Por ejemplo, si la humedad es del 50 % a 23 °C, esto implicaría que el aire contiene 50 % del nivel máximo de vapor de agua que podría mantener a 23 °C.



Fuente: (ROMAN, 2013)

3.7.3 *Medición de humedad.* La humedad influye en un gran número de procesos físicos, químicos y biológicos, por este motivo existen diferentes métodos relacionados con la medición de humedad que pueden aprovecharse para indicar los cambios de humedad.

- **Mecánico:** Los higrómetros mecánicos usan la expansión y contracción de materiales orgánicos con los cambios de humedad. El elemento sensible puede ser un cabello, un elemento textil o plástico.
- **Bulbo húmedo y seco (sicrómetro):** Un higrómetro de bulbo húmedo y seco se compone de dos sensores de temperatura emparejados sobre los cuales se aspira aire húmedo. Un sensor está encerrado en un material poroso (mecha o gasa húmeda) que se mantiene húmedo por la acción capilar desde un depósito de agua.
- **Impedancia eléctrica (sensores capacitivos o resistivos):** Los cambios de humedad se miden como un cambio en la capacitancia o resistencia eléctrica del sensor, o una combinación de ambas las lecturas se muestran directamente, a veces en diversas unidades (por ejemplo, humedad relativa o punto de rocío), y también pueden disponer de una salida de señal eléctrica (por ejemplo, voltaje analógico), los sensores resistivos y capacitivos se usan para una variedad de aplicaciones, incluido el control de aire acondicionado y otros procesos.
- **Sensores capacitivos:** Responden más a la humedad relativa que al punto de rocío, con una buena linealidad a bajas humedades relativas, no resultan dañados por la condensación.
- **Sensores resistivos:** Responden más a la humedad relativa que al punto de rocío. La linealidad de los sensores resistivos es mejor a altas humedades. La mayoría de los sensores resistivos no pueden tolerar la condensación. Sin embargo, algunos están protegidos contra la saturación, mediante calentamiento automático para impedir la condensación.
- **Cambio de color:** Existen indicadores que muestran los cambios de la humedad en forma del cambio de color de una tira de papel u otro material.

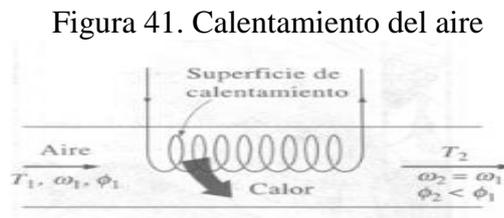
3.8 Relación entre la temperatura y la humedad relativa del ambiente

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la humedad relativa.

- Con temperaturas bajas, el contenido en humedad relativa aumenta.
- Cuando el aire se calienta, la humedad relativa disminuye.
- Cuando el aire se enfría, la humedad relativa aumenta.
- Cuando el aire se enfría por debajo del punto de saturación, el agua se condensa y se elimina permanentemente, entonces el aire resulta más seco.

3.9 Procesos de acondicionamiento de aire. (GELIS, 2010)

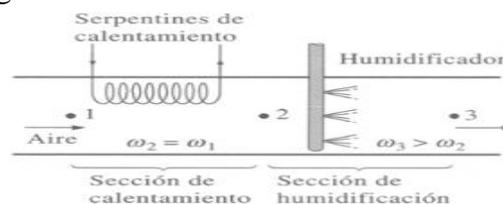
3.9.1 Calentamiento ($\omega = \text{constante}$). Durante el calentamiento simple la humedad específica permanece constante, pero la humedad relativa disminuye.



Fuente: (GELIS, 2010)

3.9.2 Calentamiento con Humidificación. La humedad relativa baja, producto del calentamiento simple, se eliminan al humidificar el aire calentado.

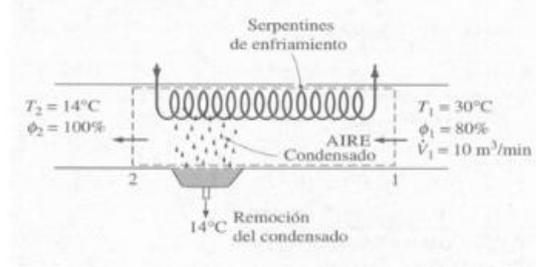
Figura 42. Calentamiento con humidificación



Fuente: (TECNOLOGICO, 2015)

3.9.3 Enfriamiento con deshumidificación. La deshumidificación es la remoción del vapor de agua presente en el aire.

Figura 43. Enfriamiento por deshumidificación



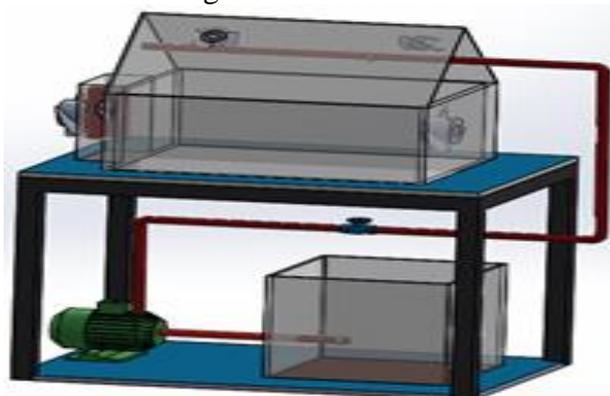
Fuente: (TECNOLOGICO, 2015)

3.10 Estructura de sistema de control de temperatura y humedad

La temperatura es aquella propiedad física que permite asegurar si dos o más sistemas están o no en equilibrio térmico.

Para realizar el control de temperatura y humedad se definió la estructura ideal en donde se pueda adquirir datos reales y en donde su aplicación sea muy común y que se encuentre dentro de un proceso industrial o una aplicación agraria, la aplicación destinada para ello es un sistema invernadero que mediante datos de temperatura y humedad relativa nos controle el riego en el interior de la estructura.

Figura 44. Estructura



Fuente: Autores

El invernadero está formado por seis sistemas bien diferenciados: calefacción, captación de datos, ventilación, riego, adquisición de datos, y tablero de control, cada uno con una función específica para el adecuado funcionamiento del sistema invernadero.

3.10.1 Calefacción. La temperatura es el factor que más influye dentro de un sistema invernadero y a la vez el más importante, el calor cedido dentro del invernadero es aportado mediante una resistencia térmica la cual la transmisión de calor se lo realiza por medio de conducción y a la vez es disipada por convección mediante los ventiladores instalados en el mismo.

3.10.2 Captación de datos. Las magnitudes a medir en el sistema son temperatura y humedad, que deben monitorearse para ser controladas, los sensores miden la temperatura ambiental, y humedad relativa, los datos pueden ser visualizados o en la interfaz gráfica y son aquellos que enviaran una señal de respuesta para activar o no los actuadores.

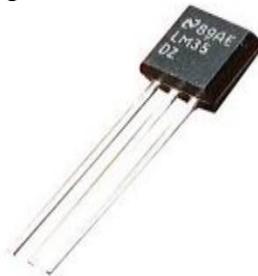
En el caso específico del proceso de control de temperatura y humedad desarrollado se emplearon dos tipos de sensores.

- Sensor de Temperatura LM35: Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C, la salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10 mV.

$$150\text{ °C} = 1500\text{ mV}$$

$$-55\text{ °C} = -550\text{ mV}$$

Figura 45. Sensor LM35



Fuente: (HONEYWELL, 2016)

El dispositivo se ajusta y calibra durante el proceso de producción, la baja impedancia de salida, la salida lineal y la precisa calibración inherente, permiten la creación de circuitos de lectura o control especialmente sencillos, el sensor de temperatura LM35 tiene una ejecución lineal según su característica típica de rendimiento.

Tabla 7. Características de sensor de temperatura LM35

Características
Factor de escala lineal de +10 mV/°C
Rango de trabajo: -55 °C a +150 °C
Funciona con alimentaciones entre 4 V y 30 V
Baja impedancia de salida, 0,1 W para cargas de 1 mA

Fuente: Autores

- Sensor de humedad HIH-4000-001: Se encarga de captar los valores correspondientes a la humedad dentro del invernadero, actualmente se dispone de varias tecnologías de sensores de humedad la mayoría basadas en la tendencia de ciertos materiales a cambiar sus propiedades físicas o eléctricas de una manera predecible cuando varía su contenido de vapor de agua.

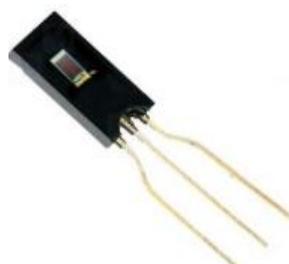
Tabla 8. Especificaciones técnicas del HIH-4000-001

Características	Mín.	Típico	Máx.	Unidad
Rango de humedad	0,8		99	% RH
Precisión (10 a 95 % RH)		+/-5	+/-8	% RH
Voltaje de Alimentación	4,00	5	5,80	V
Salida Nominal RH = 50 %	2,40	2,42	2,54	V

Fuente: Autores

Los sensores de humedad HIH-4000-001 dado que su salida es de tensión lineal es posible conectarlo directamente a un controlador u otro dispositivo, es resistente también a vibraciones, impactos, altas temperaturas y humedad, así como a descargas electromagnéticas.

Figura 46. Sensor de Humedad HIH-4000



Fuente:(HONEYWELL, 2016)

Durante el proceso de selección del sensor se consideraron tres características principales, su costo, su linealidad y su tamaño.

Tabla 9. Características y aplicaciones de sensor de humedad HIH-4000

Características	Aplicaciones
Carcasa de plástico termoestable moldeado	Equipo de refrigeración
Salida de tensión lineal vs % de humedad relativa	Equipos de climatización
Alta precisión	Equipo médico
Tiempo de respuesta rápido	Secado
Químicamente resistente	Metrología

Fuente: Autores

3.10.3 Sistema de Ventilación. El sistema de ventilación está compuesto por un ventilador y un extractor de aire, el ventilador permite el ingreso de aire desde el exterior hacia el interior, mientras que el extractor evacua el aire caliente desde el interior hacia el exterior; de esta manera, el aire que ingresa choca en las paredes del invernadero creando una ventilación circular manteniendo así un ambiente fresco.

Figura 47. Ventiladores y extractores



Fuente: Autores

3.10.4 Sistema de Riego. Es uno de los sistemas más influyentes e importantes para el correcto funcionamiento del invernadero.

- Válvula solenoide proporcional EV260B: El elemento de control destinado para el sistema de riego es una válvula solenoide proporcional EV260B, que nos permite controlar el paso de fluido mediante las señales emitidas por los sensores instalados dentro de la estructura, esto permitirá que el caudal sea el adecuado.

Figura 48. Válvula Solenoide Proporcional EV260B



Fuente:(VALVECO, 2016)

Tabla 10. Características de una válvula solenoide proporcional

Características
Para la regulación progresiva del caudal en plantas industriales
Tiempo de reacción corto
Características lineales en el rango de regulación
Se cierra ante una caída de tensión (función anti caídas)
Tensión de 24 VCC
Para agua, aceite y líquidos neutros similares
Disponible también con rosca NPT

Fuente: Autores

- Válvula de pie: Esta válvula que contiene un filtro de malla para succión se instaló para evitar el paso de sólidos flotantes que puedan encontrarse en el reservorio y provoquen taponamiento de la tubería. El otro propósito de su instalación es impedir que el agua de la tubería descienda a la zona de almacenaje.

Figura 49. Válvula de pie



Fuente: (ORG, 2014)

Tabla 11. Características y aplicaciones válvula de pie

Características	Aplicaciones
Cuerpo de bronce y filtro de acero inoxidable	Uso en pozos
Cuerpo de latón	En estanques colocada en puestos bajo el nivel de agua

Fuente: Autores

- Aspersores: Es un dispositivo mecánico que va instalado sobre la tubería y que se utilizó fines de riego.

Figura 50. Aspersores



Fuente: (PLASTIGAMA, 2014)

- Tuberías: La red de tuberías y sus accesorios es prácticamente la estructura del sistema de riego por aspersión, el material principal utilizado para la elaboración de las tuberías es el PVC, facilitando su difusión debido a las ventajas que posee como transporte, resistencia y adaptación a los cambios de temperatura.

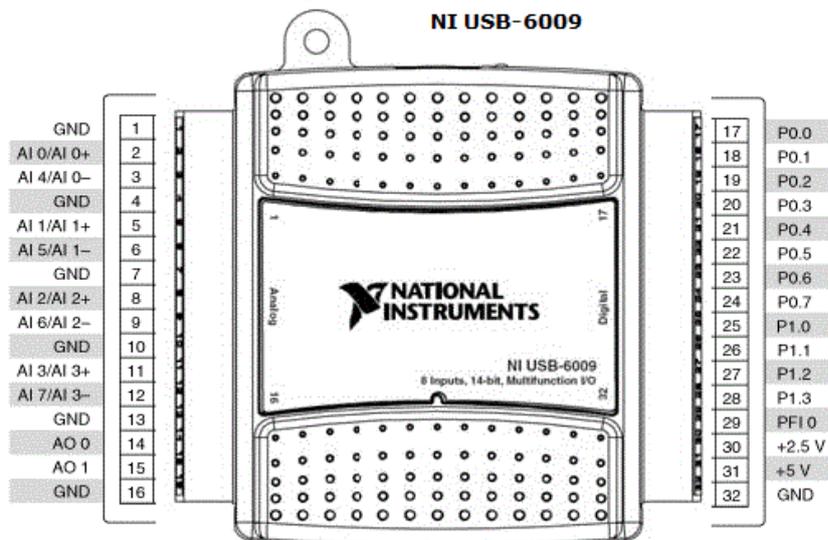
3.11 Componentes del sistema de tablero de control

3.11.1 Adquisición de Datos. La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador, y facilitar el manejo de diferentes procesos.

El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos

3.11.2 Características de la tarjeta NI USB 6009. La tarjeta NI USB 6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional para Windows 2000/XP/Vista, MAC OS X, LINUX; posee alto rendimiento y alta velocidad de muestreo.

Figura 51. NI USB 6009



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

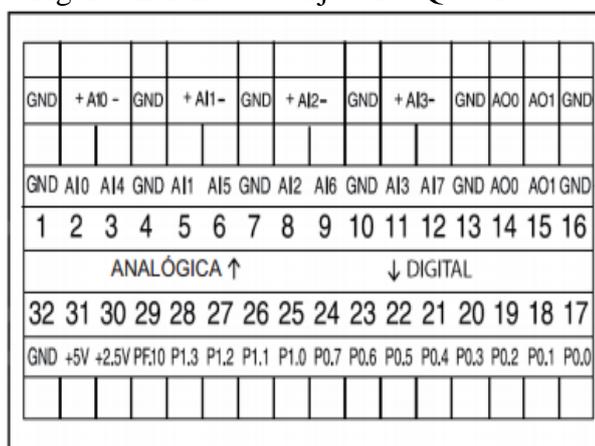
Las especificaciones de la tarjeta y el soporte de proveedores externos hacen ideal su uso para un amplio rango de aplicaciones en nuestro caso el de la adquisición de datos y control de procesos.

Tabla 12. Características de la tarjeta NI USB 6009

Características
Canales de entrada analógica seleccionados por software: 8 canales unipolares y 4 canales diferenciales.
Voltaje de trabajo ± 10 V, con una impedancia de entrada de 144 k Ω y una protección de sobretensión de ± 35 V.
Cuenta con 8 entradas analógicas y 8 digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas.
Resolución de entrada: 14 bits en modo unipolar y 13 bits en modo diferencial
Provee de dos modos de disparo para el A/D: por software y por disparador digital externo.

Fuente: Autores

Figura 52. Pines de tarjeta DAQ USB 6009



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

Tabla 13. Descripción de las señales de los pines de NI-DAQ USB 6009

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
AI(0...7)	Varios	Input	Entradas analógicas
AO0	GND	Output	Salida analógica AO.0
A01	GND	Output	Salida analógica AO.1
PI(0...3) PO(0...7)	GND	Input or Output	Señales digitales de IN/OUT (configurables)
+ 2.5 V	GND	Output	Alimentación de 2,5 VCC
+ 5 V	GND	Output	Alimentación de 5 VCC. A 200 mA
PF10	GND	Input	PF10.- Configurable tanto para un disparo digital como para un contador de eventos
GND	-	-	Tierra. Punto de referencia para señales de voltaje y corrientes analógicas y digitales (IN/OUT)

Fuente: Autores

3.11.3 Relés electromagnéticos ly2. El relé o relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor para los diferentes elementos de carga como son la válvula proporcional, ventiladores, bomba, calentador, controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Figura 53. Relés camsco ly2



Fuente: (CAMSCO)

El funcionamiento se basa en la excitación de una bobina que magnetiza a un núcleo de hierro y éste a su vez atrae una armadura móvil a la cual van unidos los contactos. (LUIS.F, 2007)

Tabla 14. Características generales del relé ly2

Características del relé	
Corriente de bobina	36,9 mA
Resistencia de bobina	650 Ω
Voltaje de la bobina	24 VDC
Contacto actual	15 A
Contacto Max actual	10 A
Material de los contactos	Aleación de plata
Voltaje AC Nominal	110 V
Voltaje DC Nominal	24 V
Contacto Voltaje VAC	120 V

Fuente: Autores

3.11.4 Relé de estado sólido. Un relé de estado sólido es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control.

Los relés de estado sólido utilizan semiconductores de potencia como tiristores y transistores para conmutar corrientes hasta más de 100 A, pueden conmutar a muy altas velocidades del orden de milisegundos en comparación a los electromecánicos.

Figura 54. Relé de estado solido



Fuente: Autores

3.11.5 Circuito integrado lm324. Es un amplificador operacional cuádruple con entradas diferenciales verdaderas, este circuito está compuesto por cuatro amplificadores, diseñados para trabajar con fuente de alimentación simple o fuente de alimentación doble, y puede trabajar con voltajes de alimentación desde 3 V hasta 32 V, y es de bajo consumo de energía. (ECURED, 2011)

Dentro del sistema de control el lm324 está conectado a dos resistencias de 10 kΩ, que cumple la función de multiplicador de voltaje de 5 V a 10 V que necesita la válvula proporcional, a continuación se muestra la siguiente fórmula.

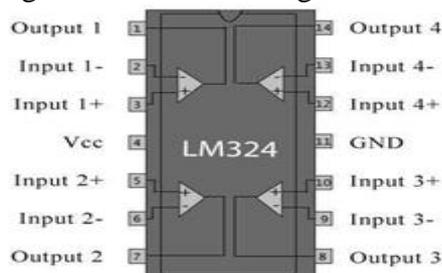
$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (1)$$

Dónde:

V_{out} = voltaje de salida [V]

V_{in} = voltaje entrada [V]

Figura 55. Circuito integrado lm324



Fuente: (ECURED, 2011)

Tabla 15. Características del circuito integrado lm324

Características
Alta ganancia en DC (100 dB)
Alto rango de alimentación
Alimentación simple: entre 3 V y 32 V
Alimentación doble: entre +/- 1,5 V y +/- 16 V
Consumo de corriente muy bajo (700) independiente de la alimentación
Muy baja corriente de polarización de entrada (45 mA) (compensado con la temperatura)

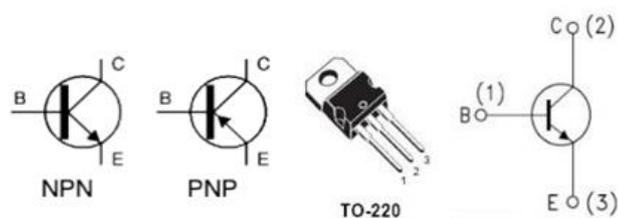
Fuente: Autores

3.11.6 *Transistor TIP 31C*. Los transistores amplifican corriente, pueden ser usados para amplificar la pequeña corriente de salida de un circuito integrado lógico de tal forma que pueda manejar una bombilla, un relé u otros dispositivos de mucha corriente.

Un transistor puede ser usado como un interruptor (ya sea a la máxima corriente, o encendido ON, o con ninguna corriente, o apagado OFF) y como amplificador (siempre conduciendo corriente), la cantidad amplificada de corriente es llamada ganancia de corriente.

Hay dos tipos estándar de transistores, NPN y PNP, con diferentes símbolos de circuito. La mayoría de los transistores usados son los NPN porque este es el tipo más fácil de construir usando silicio, los terminales son rotulados como base (B), colector (C) y emisor (E). (LUIS, 2010)

Figura 56. Símbolos de transistores



Fuente: (LUIS, 2010)

3.11.7 *Pulsadores*. Es un elemento de conmutación manual por presión, cuyo contacto solamente tiene una posición estable. Al pulsarlo, cambia de posición, y al dejar de pulsarlo, retorna a su posición mediante un muelle o un resorte interno, en un mismo pulsador puede existir ambos contactos, que cambian simultáneamente.

Para el invernadero se utilizó un pulsador normalmente abierto o llamado de marcha que se utiliza para la puesta en marcha o el arranque del sistema invernadero y un pulsador de paro de emergencia que permite la parada inmediata de la instalación eléctrica en caso de fallo del sistema.

Figura 57. Pulsador de marcha y paro de emergencia



Fuente: Autores

3.11.8 *Luces indicadoras.* Indican el estado de control del módulo y sirve para observar el funcionamiento de marcha/paro.

Figura 58. Luces indicadoras



Fuente: Autores

3.11.9 *Regulador de temperatura.* Se utiliza para regular de forma manual la temperatura generada por el calentador de resistencia eléctrica.

Figura 59. Termostato



Fuente: Autores

3.11.10 Fuentes de alimentación. Para los diferentes elementos del sistema como son ventiladores, bomba, y calentador se utilizó una fuente de alimentación de 24 V alimentación utilizada para el accionamiento del relé de estado sólido y relés electromagnéticos utilizados como elementos de control al paso de la corriente VCA, también se utilizó una fuente de 12 V que alimenta al transistor lm324 que a su vez acciona la válvula proporcional que se encuentra conectada conjuntamente con la fuente de 24 V.

Figura 60. Fuentes de alimentación



Fuente: Autores

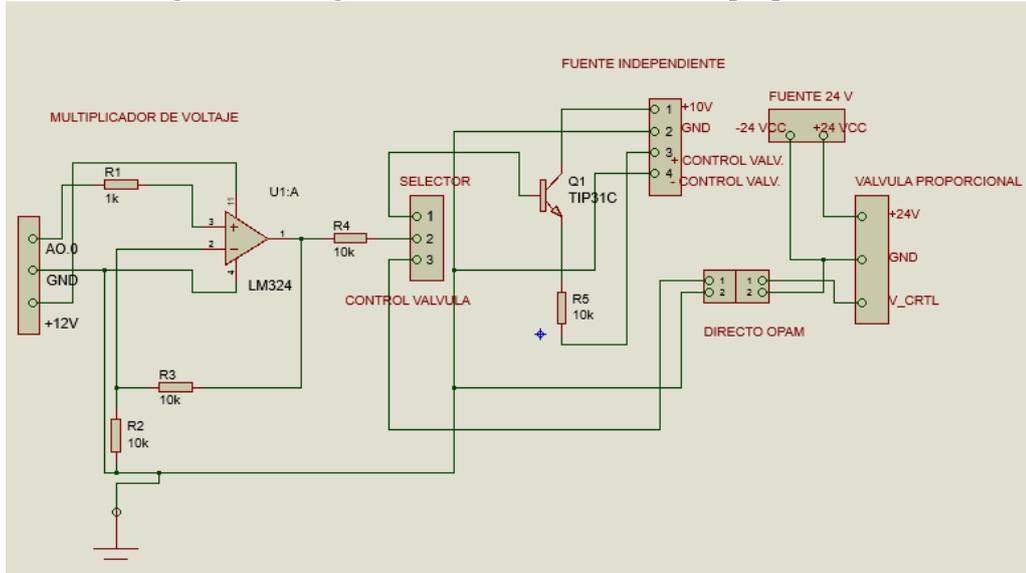
3.11.11 Elementos de protección. Para proteger a todos los elementos que conforman el sistema invernadero, se utilizó un porta fusibles con un fusible de 5 A y un accionador de emergencia del sistema.

3.11.12 Cableado eléctrico. Permite la interconexión de dos o más elementos entre sí, para la conexión eléctrica de la fuente de 12 V y 24 V se utilizó un tomacorriente doble de 110 VCA donde se conecta los adaptadores.

3.11.13 Placas electrónicas. Estas placas que se encuentran dentro del tablero de control forman una parte importante para el buen funcionamiento de todo el proceso invernadero, además en estas placas se encuentran instalados todos los elementos electrónicos que servirán para el correcto funcionamiento de los diferentes actuadores.

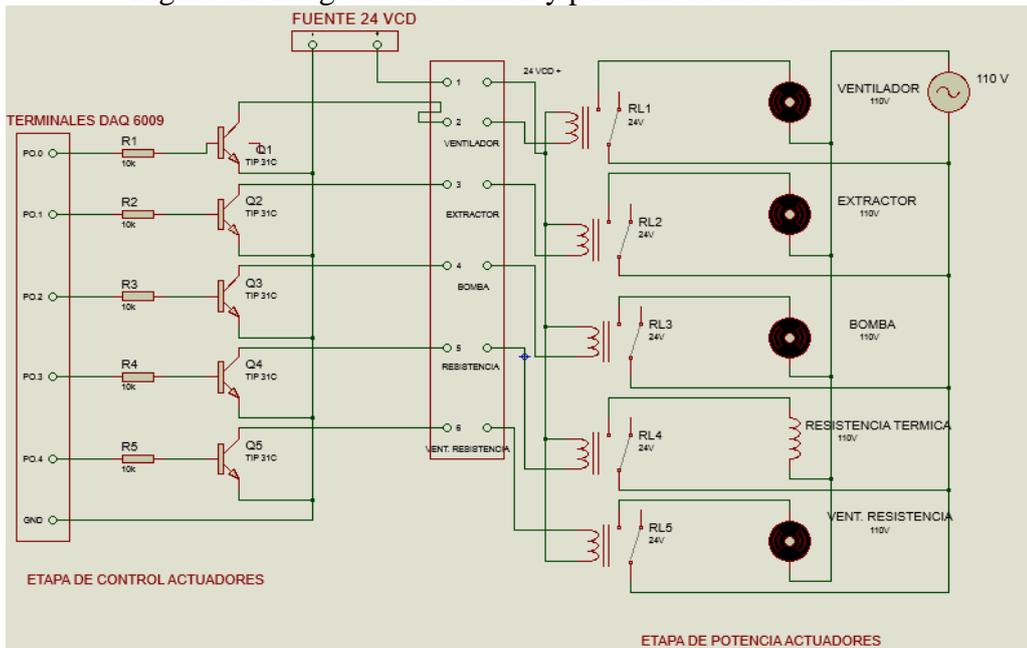
Contiene elementos electrónicos tales como transistores, resistencias y pulsadores que mediante la señal recibida por la DAQ 6009 realizan las acciones de control de los elementos de conexión de los actuadores, de esta manera ayuda al buen funcionamiento del módulo de control de temperatura y humedad.

Figura 61. Diagrama de control de la válvula proporcional



Fuente: Autores

Figura 62. Diagrama de control y potencia de los actuadores



Fuente: Autores

3.12 Montaje de equipos para el control de temperatura y humedad

Para realizar el montaje de los dispositivos de control utilizados (sensores, actuador, bomba, ventiladores, calentador y tarjeta e adquisición de datos) hemos considerado que dichos elementos se encuentren ubicados en zonas estratégicas, de tal manera que puedan captar valores precisos con los cuales se realiza el control y la toma de decisiones de manera correcta.

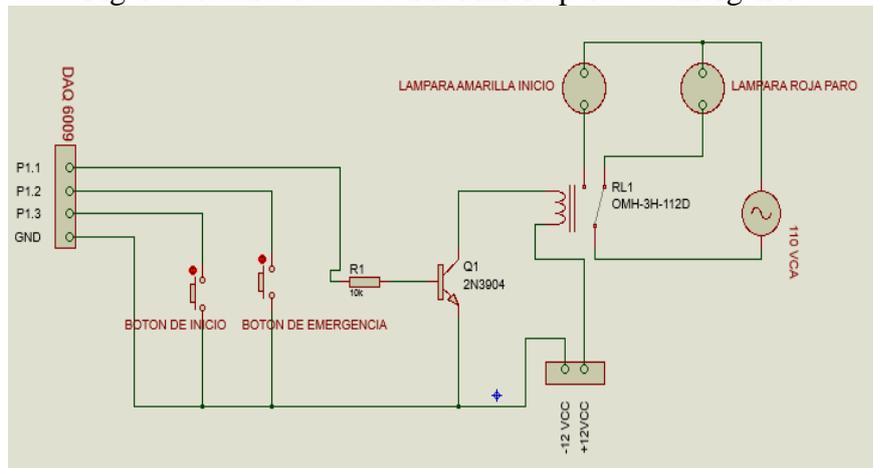
Figura 63. Montaje de equipos en módulo de control



Fuente: Autores

3.12.1 Montaje del tablero de control. El tablero de control cuenta con varios elementos para el correcto funcionamiento y protección como; interruptor de marcha, interruptor de paro, elementos electrónicos y lámparas de señalización que permiten visualizar el normal funcionamiento del sistema.

Figura 64. Circuito de control inicio-paro de emergencia



Fuente: Autores

El elemento para realizar el control de todo el sistema es la NI-DAQ USB 6009 es necesario conectar los cables de salida, entrada con los que se encuentra enlazados a la respectiva bornera de la tarjeta y el cable USB que se conecta al computador.

Figura 65. Tablero de control



Fuente: Autores

3.12.2 *Montaje del sistema de riego.* Para los diferentes elementos principales que conforman el sistema de riego como; válvula de pie, bomba, válvula proporcional y aspersores, para su instalación se ha utilizado tuberías y accesorios de ½", parte de este sistema posee un tanque que es utilizado para el depósito de agua.

Figura 66. Instalación del sistema de control de riego



Fuente: Autores

3.12.3 *Montaje de la bomba.* La bomba se encuentra colocada externamente esta se accionará al momento que los sensores y el sistema de control se encuentren en los parámetros deseados.

Figura 67. Bomba de agua milano



Fuente: Autores

3.12.4 *Montaje de los sensores.* El sensor de temperatura y humedad deben estar ubicados en un punto estratégico del invernadero de tal manera que puedan ser sensibles a la adquisición de datos de las variables.

- Sensor de humedad: Es aconsejable que este sensor no toque el suelo o esté cerca del agua, de esta forma se lograra capturar el valor preciso.

Figura 68. Sensores de humedad



Fuente: Autores

- Sensor de temperatura: Debe estar ubicado en un punto estratégico del invernadero en el cual no reciba aire directo por parte del ventilador.

Figura 69. Sensores de temperatura



Fuente: Autores

3.12.5 Montaje de ventiladores. Al colocar el ventilador debemos tomar muy en cuenta el sentido en el que circula el aire en el ambiente, es decir, debe estar ubicado en el mismo sentido en que fluye la corriente de aire para que pueda ingresar al invernadero.

Figura 70. Instalación del sistema de enfriamiento por aire



Fuente: Autores

El extractor no debe ubicarse frente al ventilador, ya que el aire fresco que ingresa por el ventilador sería sacado inmediatamente, de esta manera lograremos que el aire fresco que ingresa, choque en las paredes del invernadero y las variables de temperatura y humedad puedan ser medidas correctamente.

3.13 Desarrollo y programación del software de monitoreo y control

Antes de realizar el desarrollo del sistema de monitoreo y control se tomó referencias del ambiente climatológico que se muestran en cada una de las provincias y cantones del Ecuador, en donde se pudo constatar las variaciones de temperatura y humedad que existen en un cantón determinado, para nuestro caso se ha tomado datos reales del ambiente climático del cantón Santo Domingo de los Colorados de donde partiremos realizando el análisis para proceder a realizar las reglas de mandami.

Tabla 16. Variaciones de temperatura y humedad Santo Domingo de los Colorados

Variaciones de temperatura por meses del año [°C]										
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept	Oct.
Máxima diaria	32,4	32,9	33,2	32,8	32	31,3	31,3	31,4	32	31,5
Diaria promedio	24,4	24,4	25,5	25,2	25	24,4	24	23,7	24	23,8
Mínima diaria	19,8	16,7	20,7	20,7	20,6	19,6	19,3	19,6	20	19,6
Variaciones diarias de la humedad relativa por meses del año [%]										
Máxima diaria	88	90	87	89	90	90	89	89	89	89
Diaria promedio	86	86	86	86	87	87	87	87	87	86
Mínima diaria	85	84	83	84	84	84	86	86	85	84

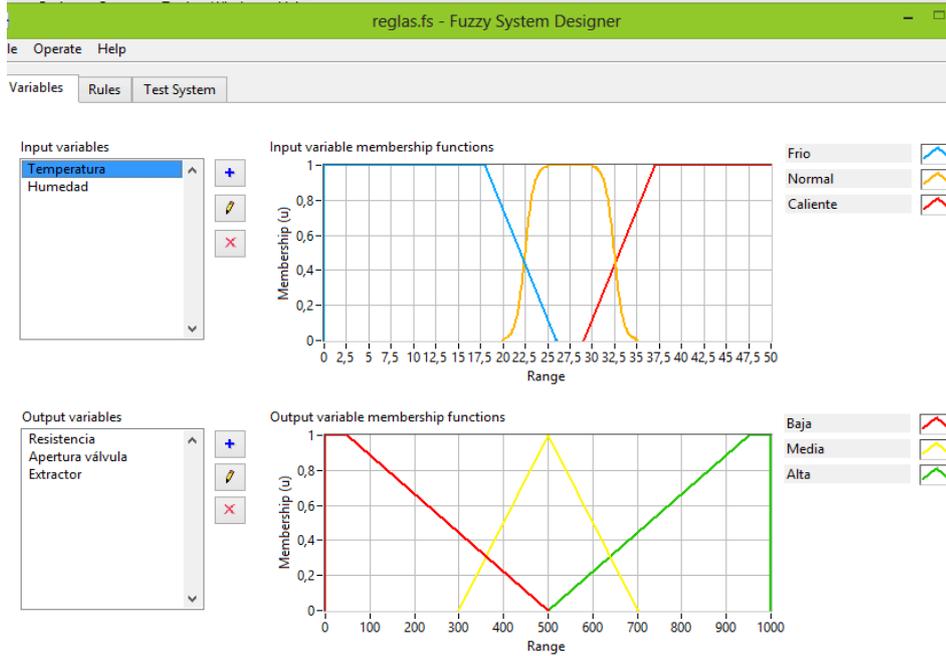
Fuente: Autores

3.14 Creación de la base de reglas en el diseñador de sistema Fuzzy

Para la creación de la base de reglas en el diseñador de sistema Fuzzy se debe considerar algunos aspectos importantes.

3.14.1 Identificar las variables de dominio. Son variables que van a estar sujetas a control tanto de entrada como salida, las variables de entrada se las conoce como variables de estado en este caso es la temperatura y humedad y la variables de salida o variables de control en este caso el accionamiento de calefacción, enfriamiento y riego del proceso invernadero.

Figura 71. Variable de dominio



Fuente: (INSTRUMENTS, 2014)

3.14.2 Establecer las reglas. Para establecer los diferentes tipos de reglas se puede realizar una matriz para asociar los diferentes estados y tomar acciones de ejecución dependiendo de los valores que generan en el antecedente o entradas y que tome acciones el consecuente o variables de salida para ejecutar el control de variables de temperatura y humedad.

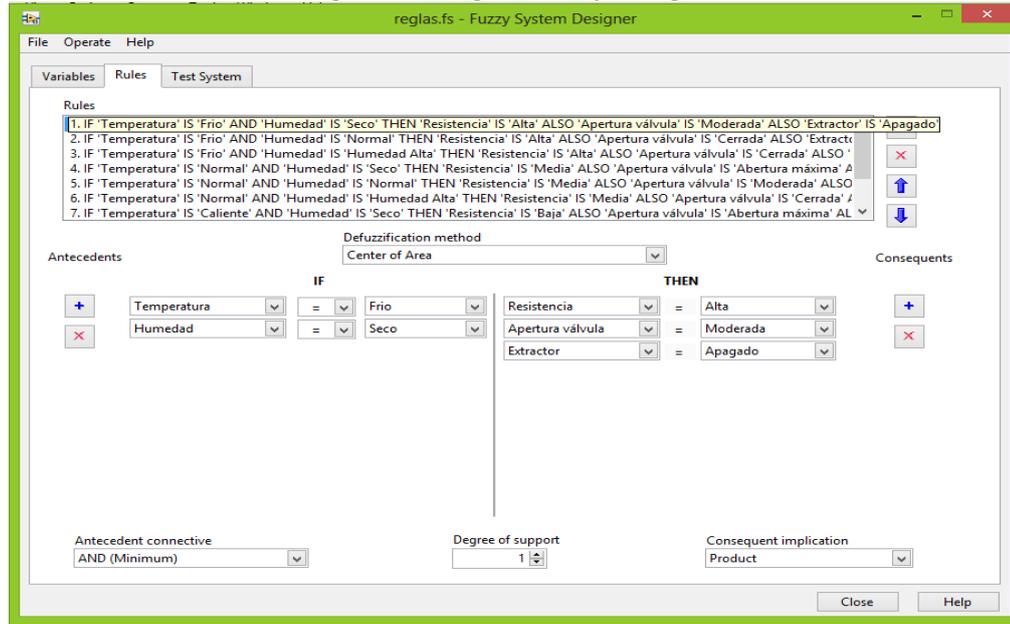
Tabla 17. Matriz Mandami

Humedad			
Temperatura	Seco	Normal	Alta
Frío	Resistencia alta Apertura válvula moderada Extractor apagado	Resistencia alta Apertura válvula cerrada Extractor apagado	Resistencia alta Apertura válvula cerrada Extractor encendido
Normal	Resistencia media Apertura válvula máxima Extractor apagado	Resistencia media Apertura válvula moderada Extractor apagado	Resistencia media Apertura válvula cerrada Extractor encendido
Caliente	Resistencia baja Apertura válvula máxima Extractor encendido	Resistencia media Apertura válvula moderada Extractor encendido	Resistencia baja Apertura válvula moderada Extractor encendido

Fuente: Autores

3.14.3 Reglas FuzzyDesigner. Permite establecer las reglas que servirán para el control de temperatura y humedad basadas en la matriz de Mandami.

Figura 72. Reglas FuzzyDesigner



Fuente: Autores

3.15 Desarrollo del interfaz de control y monitoreo

A continuación se muestran las ventanas para el proceso de control Fuzzy y sus partes principales del software LabVIEW.

3.15.1 Interfaz desarrollo en LabVIEW. Con el software LabVIEW se desarrolló el interfaz para el control de temperatura y humedad desde la PC y la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 que permite el ingreso del usuario.

Figura 73. Interfaz del usuario

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO



ESCUELA DE INGENIERIA DE MANTENIMIENTO

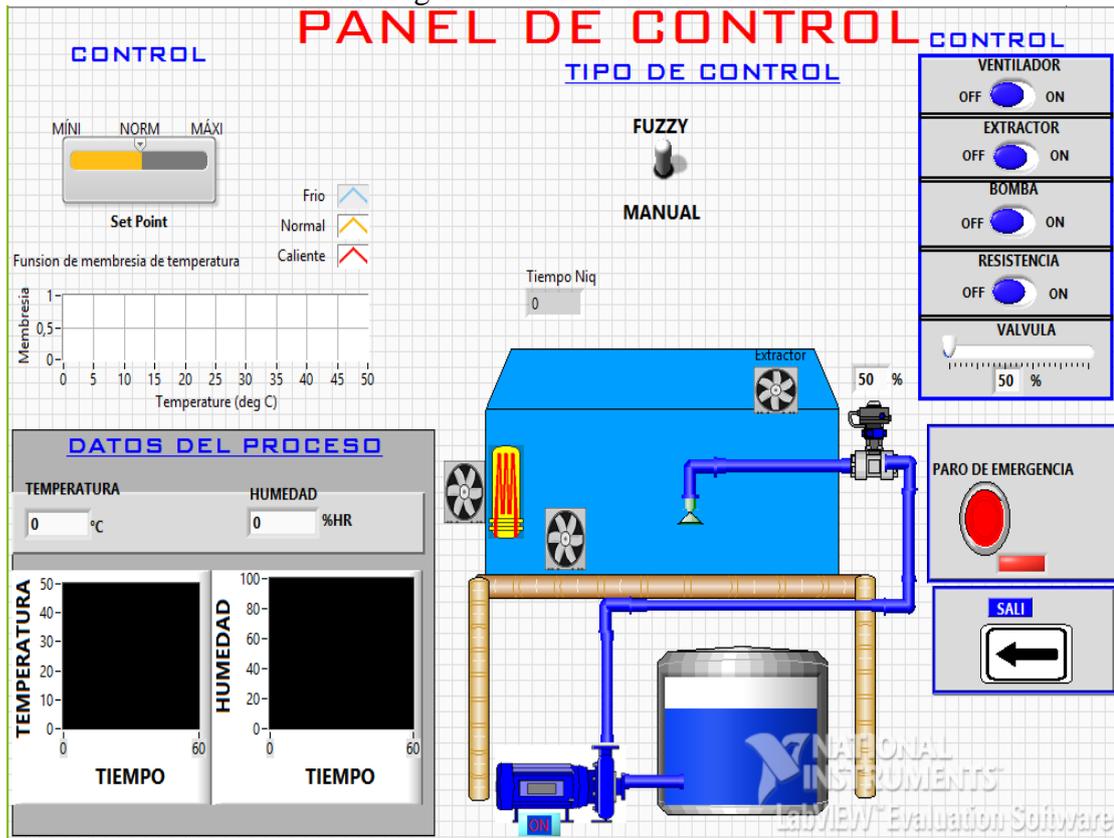
"Diseño y Construcción de un Módulo para el Control Fuzzy de Temperatura y Humedad utilizando un Sistema SCADA para el Laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH"

DIEGO FERNANDO RODRIGUEZ CHICAIZA
CRISTIAN ALEJANDRO QUINTO CEDEÑO

Fuente: Autores

- Panel de control: El panel de control es la ventana con la cual el usuario interactúa, de una forma simple, con el programa, el panel de control es indispensable porque se puede visualizar todos los elementos o dispositivos que conforman el proceso invernadero, también se pueden observar resultados generados en el control de temperatura y humedad ya sea de forma manual o automática.

Figura 74. Panel de control



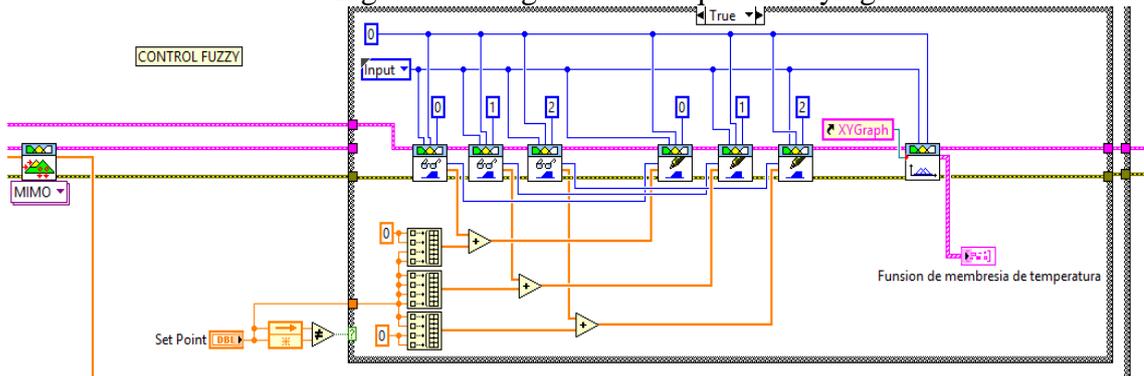
Fuente: Autores

3.16 Diagrama de bloques

En el diagrama de bloques se detalla la implementación del programa para el control de temperatura y humedad y a la vez del accionamiento del módulo de manera manual o automática.

3.16.1 Diagrama de bloques control Fuzzy. Detalla cómo se transfieren los datos y cómo actúan los FuzzyController ante las señales recibidas por los sensores tanto de humedad como temperatura instalada en el módulo.

Figura 75. Diagrama de bloques Fuzzylogic



Fuente: Autores

A continuación se detalla los elementos principales en el diagrama de bloques de control Fuzzy y su función.

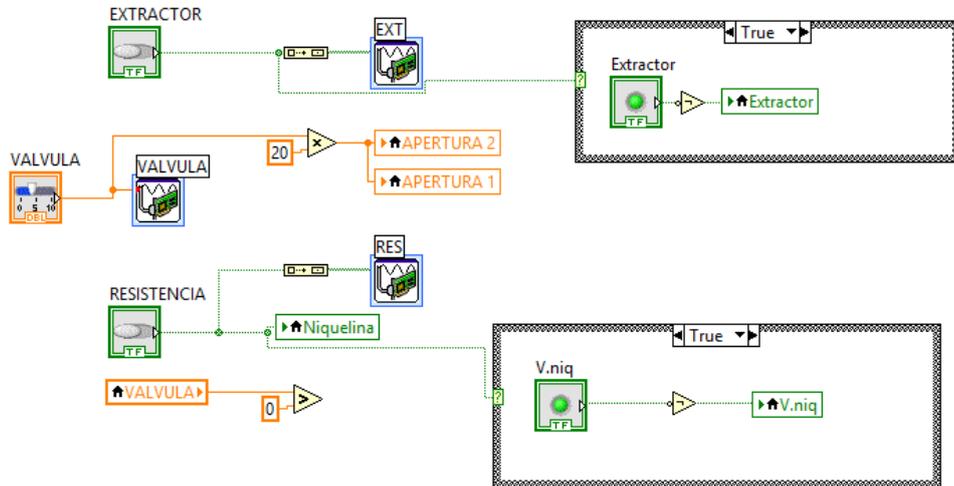
Tabla 18. Elementos utilizados programación FuzzyLogic

Diagrama	Función
	<p>FL load fuzzysystem VI Carga un sistema difuso de un archivo .fs. También puede cargar y guardar archivos en .fs el diseñador del sistema Fuzzy.</p>
	<p>FL get membership function (FuzzySystem) Devuelve la forma y los puntos de una función de pertenencia para una variable lingüística.</p>
	<p>FL plot variable VI Traza una variable de entrada o de salida específico que se encuentra en un sistema difuso con las funciones de pertenencia de esa variable.</p>
	<p>Implementa un controlador de lógica difusa para una múltiple salida de múltiples entradas</p>

Fuente: Autores

3.16.2 *Diagrama de bloques control manual.* Detalla cómo se transfieren los datos al momento del accionamiento de los diferentes actuadores de forma individual.

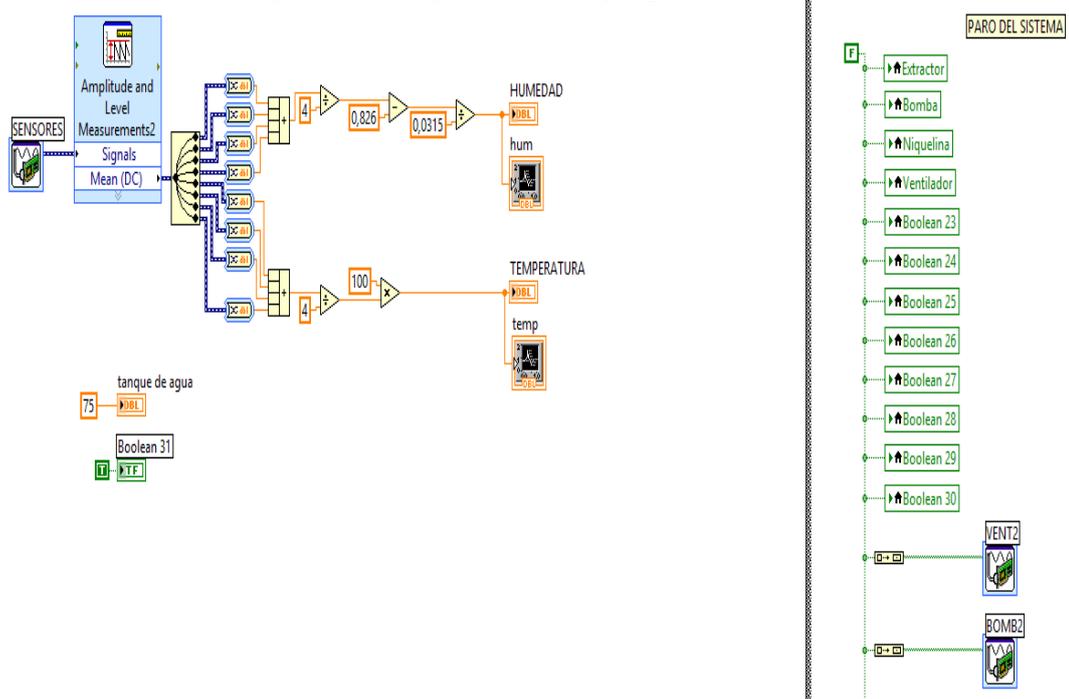
Figura 76. Diagrama de bloques control manual



Fuente: Autores

3.16.3 *Diagrama de bloques tablero de control.* Detalla la acción de control que establece el diagrama de bloques al momento de accionar los elementos instalados en el tablero eléctrico.

Figura 77. Diagrama de bloque paro del sistema



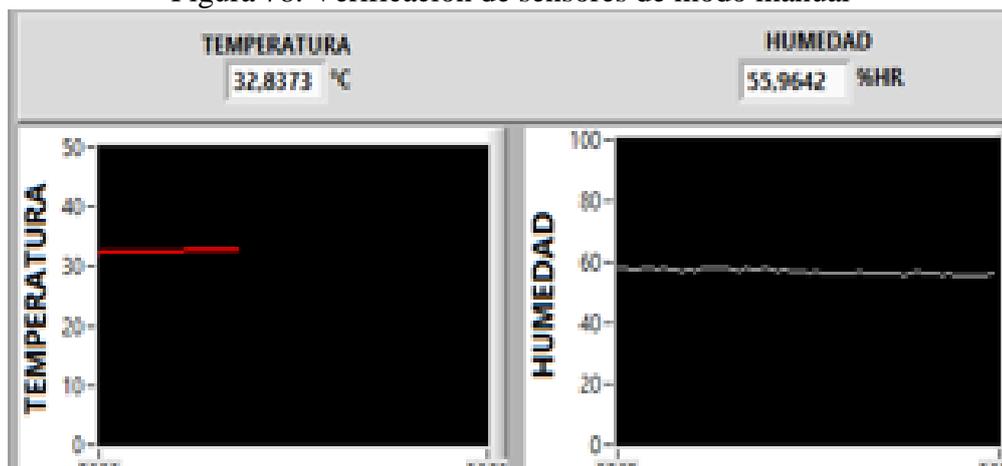
Fuente: Autores

3.17 Adquisición de datos de proceso

La variación de temperatura y humedad existente en el interior del invernadero se encuentra medido por los sensores instalados en el mismo, en este caso se realizara la validación de la toma de datos tanto de temperatura y humedad que realiza los sensores estos datos serán mostrados en el panel de control en caso de haber alguna anomalía los datos del proceso serán nulos.

3.17.1 *Adquisición de datos de sensores de temperatura y humedad mediante el modo manual.* En este caso para la validación del mismo se toma en cuenta que el sistema de calentamiento ventilador-resistencia eléctrica se encuentre accionada para generar la temperatura y humedad que permita la toma de datos por medio de los sensores.

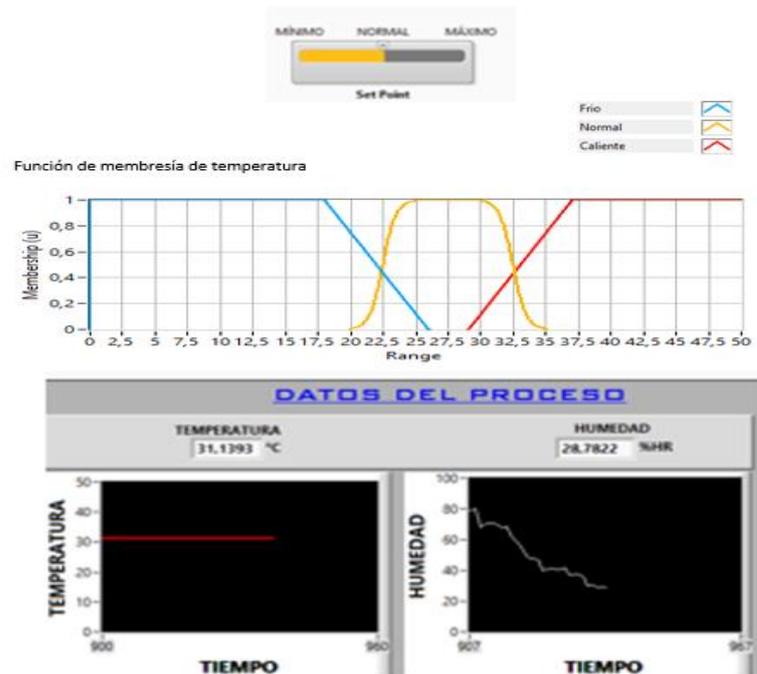
Figura 78. Verificación de sensores de modo manual



Fuente: Autores

3.17.2 *Adquisición de datos de sensores de temperatura y humedad mediante el modo Fuzzy.* En este caso el set point ubicado en el panel de control es de mucha importancia ya que mediante el mismo se puede ubicar rangos mínimo, normal o máximo de temperatura y humedad que pueden llegar a medir los sensores que se encuentran instalados en el interior del invernadero, al momento de llegar a los puntos predeterminados en el set point el sistema tomará decisiones de encendido, apertura, cierre o apagado de los diferentes actuadores instalados en el sistema del proceso invernadero de forma automática, para obtener una temperatura y humedad óptima según el requerimiento.

Figura 79. Datos del proceso modo Fuzzy



Fuente: Autores

3.18 Verificación de accionamiento de la servo válvula

La validación de los sistemas de control de caudal es muy importante dentro de un sistema invernadero ya que de esto depende que el elemento instalado en el sistema, cumpla la función a la que está destinado, para la validar el funcionamiento de la servo válvula se consideró los dos parámetros de control que se encuentran en el panel frontal tanto de modo manual como modo Fuzzy.

3.18.1 Verificación de funcionamiento de servo válvula mediante el modo manual.

Dentro de esta aplicación se puede controlar la apertura manual o parcial sin considerar las señales emitidas por los sensores de humedad y temperatura, la apertura o cierre de la servo válvula se puede validar mediante la variación de fluido que existe en el momento del riego.

Figura 80. Control de accionamiento manual de servo válvula



Fuente: Autores

3.18.2 *Verificación de funcionamiento de servo válvula mediante el modo Fuzzy.* La apertura o cierre de la válvula se logra mediante la obtención progresiva de las señales de control, la cual debe ser en corriente estas señales de control están dados por los datos que se obtiene a través de los sensores de humedad y temperatura, en el panel frontal de control de LabVIEW se puede observar el porcentaje de apertura o cierre de la válvula proporcional esto depende de la cantidad de temperatura y humedad que se genera en el interior del módulo.

3.19 Práctica de laboratorio medición y control Fuzzy de temperatura y humedad

Tabla 19. Práctica de laboratorio 1

	<p>Prácticas de laboratorio Módulo de control temperatura y humedad</p>	<p>Laboratorio de Control y Manipulación Automática</p>
<p>Versión 2015</p>	<p>ESPOCH - Facultad de Mecánica</p>	
<p>Tema: Reconocimiento de los elementos que conforman el módulo para el control de temperatura y humedad.</p>		
<p>Objetivo general. Reconocer los elementos del módulo para el control de temperatura y humedad.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificar los elementos instalados en el tablero de control y de los demás elementos del módulo. Conocer el funcionamiento de cada elemento que conforma el tablero de control. Conocer el funcionamiento de los elementos instalados en el sistema de riego. Reconocer la ubicación e instalación de los sensores de temperatura y humedad. Conocer el funcionamiento de todos los actuadores instalados en el módulo. <p style="text-align: center;">Marco teórico</p> <p>Un sistema interfaz hombre máquina (HMI) es la comunicación que tiene el operador hacia un proceso máquina o instalación y es aquel que posee el control sobre aquello.</p> <p>En la actualidad se puede realizar todo tipo de mediciones y control desde un PC, el cual registra y procesa toda la información mediante un software, de tal manera que nos permita visualizar, monitorear y controlar el proceso de un invernadero, el módulo que se ha diseñado esta para detectar condiciones climáticas como son la temperatura y humedad relativa.</p>		

Equipos, instrumentos y accesorios

Tablero de control con la tarjeta USB 6009

Bomba de agua milano

Válvula proporcional

Ventiladores y extractor

Sensores de temperatura

Sensores de humedad

Resistencia térmica

Procedimiento

Reconocer todos los elementos del tablero de control sus conexiones, ubicación y función.

Identificar todos los dispositivos que se encuentran enlazados con la DAQ USB 6009.

Conocer la función de las fuentes (12V y 24V) instaladas para el proceso.

Conocer la función de los sensores de temperatura y humedad.

Identificar la ubicación de todos los actuadores y conocer su función.

. Conclusiones

Se reconoció todos los elementos instalados en el tablero de control y del módulo en general para su correcto funcionamiento

Se identificó la ubicación correcta de los sensores para que puedan captar o sensar valores precisos.

Se conoció el funcionamiento de cada uno de los elementos instalados.

Recomendaciones

No variar la ubicación de los sensores de humedad y temperatura ya que pueden variar su registro dependiendo la aproximación a la fuente de calefacción.

No manipular el cableado de la tarjeta de adquisición de datos puesto que puede alterar el funcionamiento de cualquiera de los actuadores.

Fuente: Autores

Tabla 20. Práctica de laboratorio 2

 	Prácticas de laboratorio Módulo de control temperatura y humedad	Laboratorio de Control y Manipulación Automática
Versión 2015	ESPOCH - Facultad de Mecánica	
Tema: Puesta en marcha y funcionamiento del módulo para el control de temperatura y humedad de modo manual.		
Objetivo general: Poner en marcha y funcionamiento el módulo para el control de		

temperatura y humedad de modo manual.

Objetivos específicos:

Conectar la alimentación general del sistema o módulo.

Conectar el cable USB de la DAQ hacia el computador.

Identificar y conocer sobre la programación del sistema para el control de temperatura y humedad.

Conocer el correcto funcionamiento y la secuencia del proceso.

Poner en marcha el sistema de control de modo manual.

Marco teórico

El sistema de control de temperatura y humedad (invernadero), funciona de modo manual y automático, en el que el operador tiene la opción de escoger una de ellas para poner a punto su funcionamiento, este caso se utilizará el tipo de modo manual que permite controlar los actuadores instalados en el módulo de control de temperatura y humedad de modo independiente en este caso los sensores ubicados en el mismo solo muestran registros de humedad pero no realizan ninguna función de control.

Equipo y servicio básico

Software LabVIEW

Alimentación corriente alterna 110 voltios

Procedimiento

Llenar fluido en el tanque de almacenamiento.

Verificar todas las conexiones eléctricas de los diferentes elementos que conforman el módulo.

Revisar las tuberías del sistema de riego que no exista fuga.

Alimentar desde una fuente de 110VCA al sistema en general.

Conectar el cable USB de la tarjeta DAQ USB 6009 al computador.

Abrir el archivo de control de temperatura y humedad realizada en LabVIEW.

Dar clic en la programación inicio para continuar con la interfaz donde se encuentre el panel de control.

El selector de operación en el interfaz del panel de control debe estar en modo manual que es el tipo de control que se va a realizar.

Figura 81. Modo Manual



Fuente: Autores

Mediante el control manual podemos encender y apagar los diferente actuadores según los requerimientos del operador.

Figura 82. Control manual de actuadores



Fuente: Autores

Si la temperatura del sistema captada por los sensores este sobre los valores que se desea, se deben activar los actuadores como: ventiladores, extractor, y bomba para generar el sistema de riego, todo esto se hace con la finalidad de bajar la temperatura y llegar al valor deseado.

Si la temperatura del proceso está por debajo de los valores que requiere el operador, se procede a encender el calentador.

Para finalizar la práctica se debe detener el programa.

Conclusiones

Se realizó la inspección correcta de las conexiones eléctricas de todos los elementos del módulo.

Se inició la puesta en marcha de acuerdo a la secuencia a seguir del módulo invernadero.

Se visualizó las variaciones de temperatura, humedad y se procedió a encender o apagar los diferentes actuadores del sistema según los requerimientos del operador.

Recomendaciones

Antes de conectar el cable USB de la DAQ 6009 desactivar la protección (fusible).

Tener cuidado con los sensores de no moverlos de su lugar ya que pueden variar sus valores.

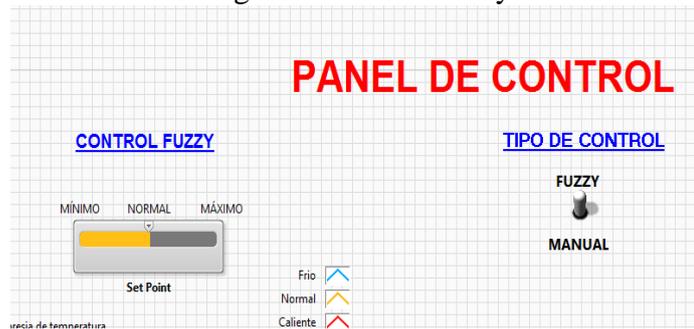
Tener cuidado con los elementos internos del tablero de control en excepción la DAQ USB de no manipularlos.

Fuente: Autores

Tabla 21. Prácticas de laboratorio modo Fuzzy

	<p>Prácticas de laboratorio Módulo de control temperatura y humedad</p>	<p>Laboratorio de Control y Manipulación Automática</p>
<p>Versión 2015</p>	<p>ESPOCH - Facultad de Mecánica</p>	
<p>Tema: Puesta en marcha y funcionamiento del módulo para el control de temperatura y humedad de modo Fuzzy.</p>		
<p>Objetivo general: Poner en marcha y funcionamiento el módulo para el control de temperatura y humedad de modo Fuzzy.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Identificar y conocer sobre la programación del sistema para el control de temperatura y humedad de modo automático.</p> <p>Conocer el correcto funcionamiento y la secuencia del proceso mediante los parámetros establecidos en el FuzzyLogic de LabVIEW.</p> <p>Poner en marcha el sistema de control de modo Fuzzy.</p> <p style="text-align: center;">Equipo y servicio básico</p> <p>Software LabVIEW</p> <p>Alimentación corriente alterna 110 voltios</p> <p style="text-align: center;">Marco teórico</p> <p>El sistema de control de temperatura y humedad permite controlar de manera automática el encendido de los actuadores que se encuentran instalados en el módulo destinado para el mismo, en este caso el control se lo realiza mediante reglas predeterminadas dentro del sistema Fuzzy ellos determinan mediante la ubicación de un set point adecuado tanto de temperatura y humedad el encendido o apagado de los actuadores cumpliendo la función para lo cual está determinado.</p> <p style="text-align: center;">Procedimiento</p> <p>Llenar fluido en el tanque de almacenamiento.</p> <p>Verificar todas las conexiones eléctricas de los diferentes elementos que conforman el módulo.</p> <p>Revisar las tuberías del sistema de riego que no exista fuga.</p> <p>Alimentar desde una fuente de 110VCA al sistema en general.</p> <p>Conectar el cable USB de la tarjeta DAQ USB 6009 al computador.</p> <p>Abrir el archivo de control de temperatura y humedad realizada en LabVIEW.</p> <p>Dar clic en la programación inicio para continuar con la interfaz donde se encuentre el panel de control.</p> <p>El selector de operación en el interfaz del panel de control debe estar en modo Fuzzy que es el tipo de control que se va a realizar.</p>		

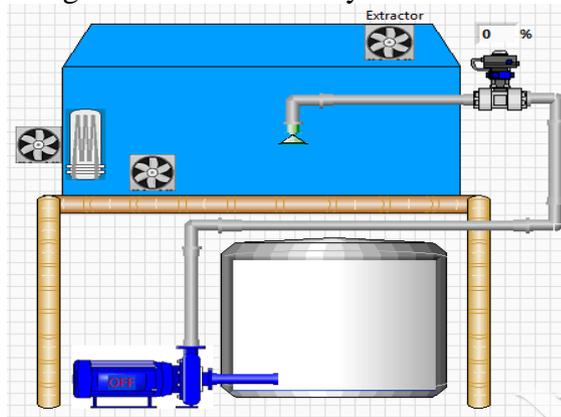
Figura 83. Modo Fuzzy



Fuente: Autores

El control Fuzzy realizará las diferentes etapas de control para el accionamiento de los diferentes actuadores según las reglas establecidas.

Figura 84. Control Fuzzy de actuadores



Fuente: Autores

Se puede visualizar el control de temperatura y humedad en el panel frontal de manera inteligente mediante el accionamiento de los diferentes actuadores que se encuentran instalados.

Para finalizar la práctica se debe detener el programa.

Conclusiones

Se inició la puesta en marcha de acuerdo a la secuencia a seguir.

Se visualizó el accionamiento de los actuadores mediante las variaciones de temperatura y humedad según los requerimientos del sistema.

Recomendaciones

Antes de conectar el cable USB de la DAQ 6009 desactivar la protección (fusible).

Tener cuidado con los sensores de no moverlos de su lugar ya que pueden variar sus valores.

Tener cuidado con los elementos internos del tablero de control en excepción la DAQ USB de no manipularlos.

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

4. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

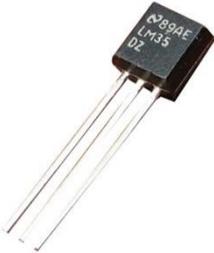
4.1 Manual de operación

El manual de operación reviste una gran importancia, ya que contiene la información necesaria de cómo será operado el módulo y las precauciones que se deberá tener al momento del accionamiento del mismo, ayuda a desarrollar las destrezas y las técnicas necesarias para operar de forma eficaz y correcta el modulo destinado para el control de temperatura y humedad.

El manual de operación deberá contener la información general del proceso ya que se trata de elaborar una guía para el usuario de los equipos.

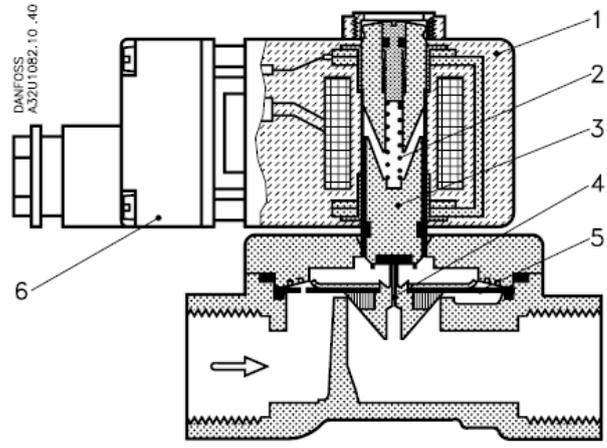
4.1.1 Información técnica. Se encuentran los datos más relevantes de los elementos con lo que se encuentra diseñado el equipo, estos datos son suministrados por el fabricante.

Tabla 22. Datos técnicos del sensor de temperatura lm35

	Sensor de temperatura lm35dz	Laboratorio de Control y Manipulación Automática
Versión: 2015	Información técnica	
	ESPOCH - Facultad de Mecánica	
Equipo	Datos técnicos	
	Modelo	lm35dz
	Características generales	
	Calibración directa en ° Celsius (centígrados). Lineal + 10 mV / °C Factor de Escala. 0.5 °C Precisión asegurada (a + 25 °C) Funciona de 4 a 30 V Impedancia de salida baja Bajo Costo	

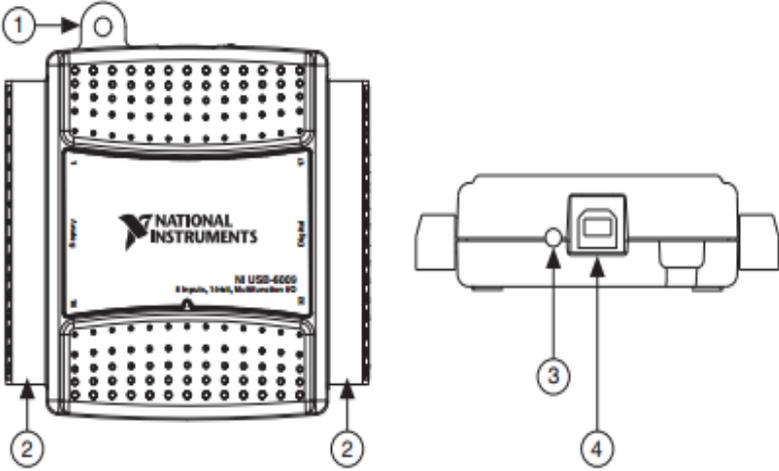
Fuente: Autores

Tabla 23. Datos técnicos de la electroválvula proporcional

	<p>Electroválvula proporcional servoaccionada de dos vías</p>	<p>Laboratorio de Control y Manipulación Automática</p>
<p>Versión: 2015</p>	<p>Información técnica ESPOCH - Facultad de Mecánica</p>	
<p>Equipo</p>	<p>Datos técnicos</p>	
	<p>Marca</p>	<p>Danfoss</p>
	<p>Modelo</p>	<p>Ev260b</p>
	<p>Características generales</p> <p>Regulación progresiva del caudal en plantas industriales (agua, aceite y líquidos neutros similares). Tiempo de reacción corto Características lineales en el rango de regulación Se cierra ante una caída de tensión (función anti caídas) Tensión de 24 VCC De 0 a 10 VCC para señal de control Rango de caudal de agua: 0,5-12,7 m³/h Protección de la bobina: IP 67 Disponible también con rosca NPT</p>	
<p>Recomendaciones de fabricante</p>		
<p>Instalación</p>	<p>Se recomienda un sistema de electroválvulas vertical</p>	
<p>Rango de presión</p>	<p>0,5 - 10 bar</p>	
<p>Presión de prueba</p>	<p>15 bar</p>	
<p>Temperatura ambiente</p>	<p>Menos 25 a más 50 °C</p>	
<p>Temperatura del fluido</p>	<p>Menos 10 a más 80 °C</p>	
<p>Partes de la electroválvula proporcional</p>		
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>1. Bobina 2. Muelle de cierre 3. Armadura 4. Orificio piloto 5. Diafragma 6. Caja de terminales</p> </div> </div>		

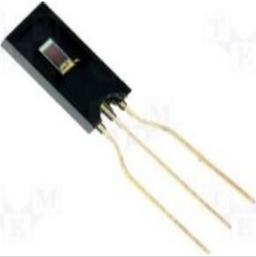
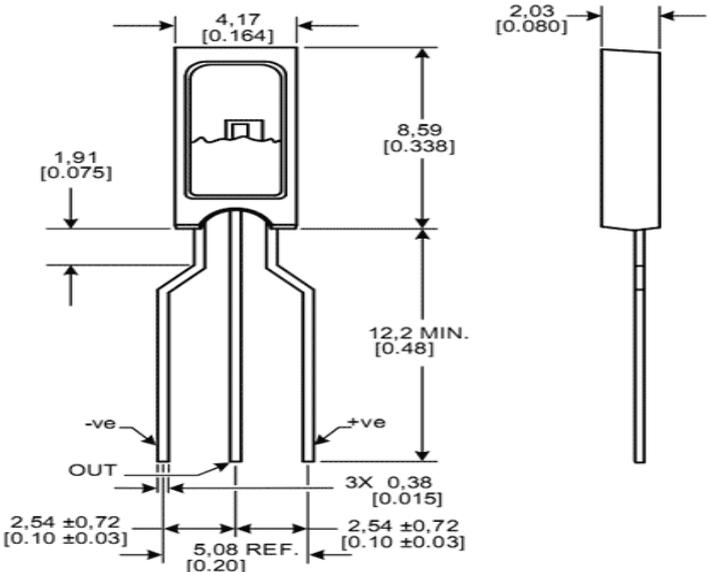
Fuente: Autores

Tabla 24. Datos técnicos de la DAQ USB-6009

	<p>DAQ USB - 6009</p>	<p>Laboratorio de Control y Manipulación Automática</p>
<p>Versión: 2015</p>	<p>Información técnica ESPOCH - Facultad de Mecánica</p>	
<p>Equipo</p>	<p>Datos técnicos</p>	
	<p>Modelo</p>	<p>NI USB 6009</p>
	<p>Características generales</p>	
	<p>8 entradas analógicas 2 salidas analógicas Rango de voltaje máximo 0 V - 5 V Capacidad de Corriente Simple 5 mA. Capacidad de Corriente Total 10 mA. Precisión 1.53 mV</p>	
<p>Partes de la DAQ USB – 6009</p>		
		
<p>1</p>	<p>Retenedor de cable 1 USB</p>	
<p>2</p>	<p>Terminal de tornillo Conector Plug</p>	
<p>3</p>	<p>Indicador LED</p>	
<p>4</p>	<p>Conector USB</p>	

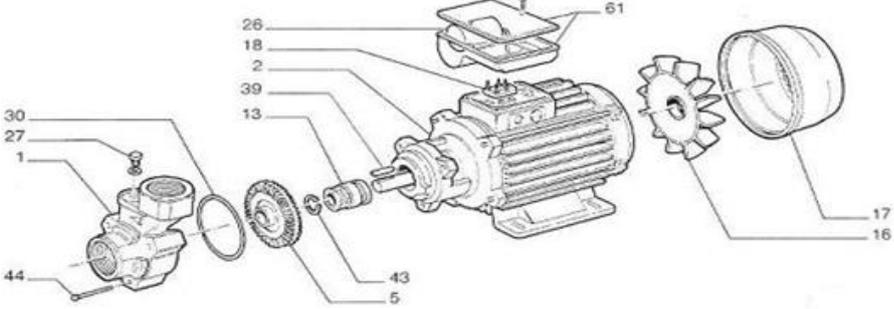
Fuente: Autores

Tabla 25. Sensor de humedad HIH-4000-001

	<p>Sensor de humedad HIH 4000 - 001</p>	<p>Laboratorio de Control y Manipulación Automática</p>
<p>Versión: 2015</p>	<p align="center">Información técnica ESPOCH - Facultad de Mecánica</p>	
<p>Equipo</p>	<p align="center">Datos técnicos</p>	
	<p>Marca</p>	<p>HONEYWELL</p>
	<p>Modelo</p>	<p>HIH 4000-001</p>
	<p align="center">Características generales</p> <p>Carcasa de plástico termoestable moldeado. Cerca de la salida de tensión lineal vs % RH. Diseño de Bajo Consumo. Tiempo de respuesta rápido Químicamente resistente</p>	
<p align="center">Recomendaciones de fabricante</p>		
<p>Corriente de Alimentación: 0.5 mA</p>	<p>Salida 1, Sensor: Tensión</p>	
<p>Rango de Humedad: 0 % a 100 % de Humedad Relativa</p>	<p>Sensibilidad: ± 3 %</p>	
<p>Temperatura de Trabajo Máx.: 85 °C</p>	<p>Sensor, Tensión Alimentación: 4 V CC a 5,8 VCC</p>	
<p>Temperatura de Trabajo Mín.: - 40 °C</p>	<p>Sensor, Terminales: Agujero Pasante</p>	
<p>Precisión de Detección: 3,5 %</p>	<p>Tensión de Alimentación Máx.: 5,8 VDC</p>	
<p>Tiempo de Respuesta: 15 s</p>	<p>Tensión de Alimentación Mín.: 4 VDC</p>	
<p align="center">Partes del sensor de humedad HIH 4000-001</p>		
		

Fuente: Autores

Tabla 26. Datos técnicos bomba de agua

		Bomba de agua milano		Laboratorio de Control y Manipulación Automática	
Versión: 2015		Información técnica			
		ESPOCH - Facultad de Mecánica			
Equipo		Datos técnicos			
		Modelo		Milano	
		Características generales			
		Potencia. 0,5 Hp Caudal máx. 40 l/min Alimentación. 110 V Altura máx. 40 m Diámetro tubería de succión y descarga. 1”			
Partes de la bomba					
					
1	Cuerpo de la bomba	17	Tapa del ventilador del motor	39	Chaveta
2	Tapa de acople	18	Bornera de conexión	43	Aro seeger
5	Turbina de bronce	26	Capacitor	44	Tornillo sujeción del cuerpo
13	Sello mecánico	27	Tapón de cebado	61	Caja de conexión monofásica

Fuente: Autores

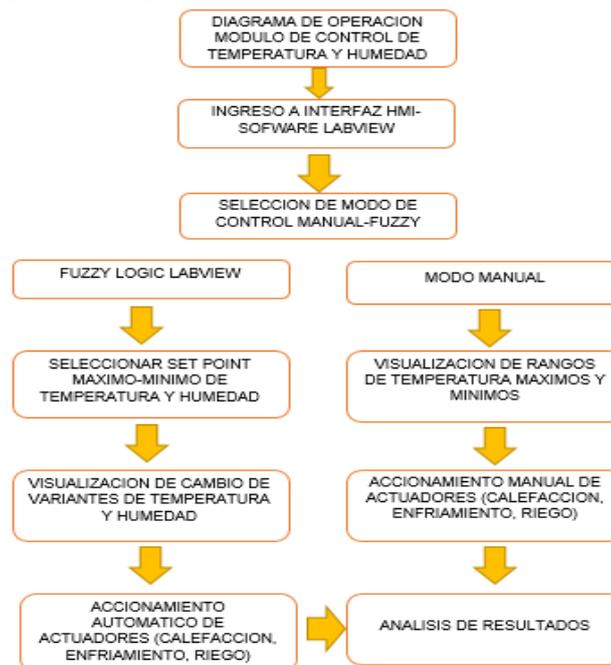
4.1.2 Operación. Determina la forma de utilización y los pasos a realizarse para poner en marcha el módulo; además se considera el manejo técnico correcto para el mismo.

Para la operación intervienen cuatro elementos claves como; operador, sensores, actuadores y el computador, el sistema invernadero puede funcionar de dos maneras, modo manual y automático, en el cual el usuario decide entre estas opciones la forma de controlar el clima en el interior del invernadero. El paso manual y automático requiere

que la HMI tenga configurado previamente los valores del set point, solo después de esto el operador podrá seleccionar el modo en que se desea trabajar.

- **Modo manual:** Durante el funcionamiento manual el operador tiene la capacidad para decidir directamente sobre el encendido/apagado de cada uno de los actuadores (ventiladores/extractores, calentador, riego). En este caso el sistema seguirá sensando los valores de las variables climáticas, pero dejará de controlar estos valores en relación con los del set point por lo cual no podrá tomar decisiones sobre el encendido o apagado de los actuadores. Además una vez seleccionado el modo manual se pueden activar todos los actuadores a la vez, o seleccionar el que crea necesario mediante el correspondiente pulsador.
- **Modo automático:** Durante el funcionamiento automático el operador solo deberá configurar los valores de set point que considere adecuado para el cultivo que va a utilizar, en este caso el sistema controlará las variables climáticas mediante una comparación entre los valores captados y los valores ingresados por el usuario (set point), y el sistema decidirá si se debe encender o apagar de forma automática los actuadores (ventiladores/extractores, riego), es decir el usuario no podrá decidir el encendido o apagado de los actuadores.

Figura 85. Flujo de operación módulo de control de temperatura y humedad



Fuente: Autores

4.2 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento es un documento indispensable para cualquier tipo y tamaño de industria, constituye el medio que facilita una acción planificada y eficiente del mantenimiento. La elaboración del manual de mantenimiento es un trabajo muy importante ya que permite realizar con facilidad tareas de mantenimiento con un conocimiento previo a los recursos a utilizarse para dichas actividades, estos pueden ser listado de repuestos, procedimientos para trabajos en paradas, frecuencias de mantenimiento, etc.

4.2.1 *Importancia de un manual de mantenimiento industrial.* Dentro del manual de mantenimiento se encuentran las tareas que se realizan a cada equipo dentro de límites preestablecidos, con el objetivo de conservar las funciones para los cuales ha sido diseñado. Los manuales de mantenimiento a más de las tareas deben contener dos elementos fundamentales.

- **Proceso:** Son las actividades a realizarse dentro de cada tarea de mantenimiento para un equipo o componente específico.
- **Frecuencia de mantenimiento:** Representa el intervalo de tiempo en el cual se volverá a realizar una actividad de mantenimiento.

4.3 Tareas de mantenimiento

Son aquellas actividades de mantenimiento que se ejecutan a cada elemento que conforma el sistema de control tanto en estructura como en sistema eléctrico.

A continuación se detallan las tareas de mantenimiento que se realizarán a cada uno de los elementos que componen el sistema de control de temperatura y humedad.

4.3.1 *Tanque o depósito de agua.* Verificar el tanque o reservorio que no se acumule sedimentos ya que puede producir daños en la bomba, tuberías y accesorios, así como también puede producirse taponamiento del diafragma de la válvula proporcional debido a los sedimentos que se puedan encontrar en el agua, inspeccionar el tanque que no exista fugas.

4.3.2 *Bomba.* La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio, una bomba que maneje líquidos limpios requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo, que tenga que manejar líquidos contaminados, la inspección debe ser completa y debe incluir un chequeo cuidadoso de las partes giratorias y a su vez se debe realizar la inspección eléctrica

4.3.3 *Tuberías y accesorios.* Revisar las conexiones de las tuberías que no exista fuga, así como sus accesorios que no se encuentren en mal estado, realizar una limpieza removiendo todo tipo de sedimento encontrado ya que esto provocaría obstrucción en las tuberías y el caudal que circula no sería el apropiado para el proceso invernadero que se está utilizando.

Si algún tramo de la tubería se ha roto o fisurado cambiar o reemplazar inmediatamente con otro pedazo de tubo igual del mismo material y diámetro, dejar el espacio suficiente para colocar el accesorio.

4.3.4 *Tablero de control.* Para realizar dichas actividades se debe desconectar la alimentación del tablero para reajustar las conexiones eléctricas, tornillos o algún elemento electrónico que este flojo o en mal estado las tareas que deben realizarse dentro del tablero de control se detallan a continuación.

- Inspección visual del estado de los dispositivos del tablero de control.
- Inspección de accesorios, protecciones y conexiones del tablero.
- Revisión de continuidad en conexiones de los diferentes dispositivos del tablero.
- Realizar un reajuste de los tornillos que sujetan los terminales a las borneras.
- Verificación de voltajes de entrada y salida.

4.3.5 *Válvula proporcional.* Dentro de las tareas de mantenimiento a realizarse en la válvula proporcional se encuentra, inspeccionar los cables de conexión que este en buen estado, verificar que existe la corriente necesaria para apertura y cierre de la válvula, realizar limpieza cuidadosamente todos los elementos de la válvula que se encuentran en su interior, verificando que no exista sedimentos que afecten el diafragma taponamiento.

Tabla 27. Banco de tareas de mantenimiento

		Banco de tareas de mantenimiento			Laboratorio de Control y Manipulación Automática	
ESPOCH - Facultad de Mecánica				Fecha de creación: 15-06-2015		
				Código: 001		
No.	Partes del sistema	Tareas	Materiales/Repuestos	Herramientas	Frecuencia	Responsable
1	Extractor	Limpieza de ventilador	Guaípe-brocha	Kit de herramientas	Diario	Practicante
		Revisión sistema eléctrico			Mensual	Practicante
2	Resistencia térmica	Revisión de niquelina interna		Kit de herramientas	Mensual	Practicante
		Revisión de conexión eléctrica			Mensual	Practicante
3	Ventilador de la resistencia	Limpieza de ventilador	Guaípe -brocha	Multímetro Kit de herramientas	Diario	Practicante
		Revisión de conexión eléctrica			Mensual	Practicante
4	Ventilador de enfriamiento	Limpieza de ventilador	Guaípe -brocha	Multímetro Kit de herramientas	Diario	Practicante
		Revisión de conexión eléctrica			Mensual	Practicante
5	Tuberías	Revisión de fugas de agua en uniones y codos	Teflón - permatex	Llave de tubo	Mensual	Practicante
6	Aspersor	Cambio de aspersor	Aspersor	Llave de tubo	Trimestral	Practicante
		Limpieza de rociador	Guaípe -brocha		Diario	Practicante
7	Válvula proporcional	Revisión de conexión eléctrica		Kit de herramientas	Mensual	Practicante
		Limpieza de diafragma	Guaípe -brocha		Diario	Practicante
8	Válvula de pie	Limpieza de rejilla	Guaípe -brocha	Llave de tubo	Diario	Practicante
9	Tanque de agua	Limpieza de tanque de almacenamiento	Guaípe -brocha	Llave de tubo	Diario	Practicante
10	Bomba de agua	Revisión de conexión eléctrica		Kit de herramientas	Mensual	Practicante
		Cambio de rodamientos	Rodamiento 6002		Semestral	Practicante
OBSERVACIONES:						

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El módulo para el control de temperatura y humedad satisface los objetivos propuestos en el plan de tesis, proporcionando así un sistema funcional, flexible, técnico de operación sencilla, fácil de entender y capaz de incrementar los conocimientos, el cual servirá como aporte para la Facultad de Mecánica y la ESPOCH, y además sirve como aporte para el estudiante.

Se realizó el diseño del módulo estudiando todos los instrumentos, componentes, dispositivos antes de adquirirlos mediante sus datos técnicos y su principio de funcionamiento estos fueron de gran utilidad ya que permitió establecer el sistema eléctrico y electrónico adecuado para realizar el control de temperatura y humedad del invernadero.

Para realizar la instalación y montaje de los diferentes dispositivos que conforman el módulo se tomó en cuenta la agilidad de adquisición de datos, control, espacio físico, operación y mantenimiento para el fácil acceso, prestando así facilidad para la manipulación del mismo, además se elaboraron guías de laboratorio para que los estudiantes puedan realizar prácticas con procedimientos adecuados y de forma correcta.

Se elaboró un manual de mantenimiento y el control de operación para los equipos, dispositivos o elementos que conforman el módulo con la finalidad de entender el principio de funcionamiento, operación y ofrecer una buena fiabilidad y disponibilidad del mismo evitando daños a los equipos y dispositivos, de esta forma se logra aumentar la vida útil.

Se realizó diferentes prácticas de laboratorio del proceso invernadero para establecer diferentes mediciones de temperatura y humedad, tanto de modo manual y automático.

5.2 Recomendaciones

Antes de efectuar cualquier acción en el módulo, se debe leer detenidamente el manual de operación con el fin de utilizar adecuadamente todos los componentes del mismo y evitar daños irreparables, así como cumplir el orden establecido en las guías de laboratorio para realizar las prácticas.

Realizar periódicamente el cambio de agua del tanque de reservorio, ya que de no hacerlo podría tapar el diafragma de la válvula proporcional debido a impurezas no deseadas en el agua.

Realizar un mantenimiento periódico que garantice la vida útil de este equipo, esto comprende la revisión, comprobación de sus partes e inspección de conexiones eléctricas.

BIBLIOGRAFÍA

ADMINISTRADOR. 2009. *la catarina*. [En línea] 14 de 01 de 2009. [Citado el: 05 de 07 de 2015.]

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf.

CAMSCO. Reles. [En línea] [Citado el: 19 de Diciembre de 2015.]

CARLOS. 2011. *Construir y Administrar Redes*. [En línea] 3 de Abril de 2011. [Citado el: 4 de Febrero de 2014.]

<http://construiryadministrarredcb7711carlos.blogspot.com/2011/04/cable-par-trenzado.html>.

CATARINA. 2013. *Sistemas Expertos y Logica Difusa*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de Febrero de 2014.]

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo2.pdf.

2013. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS INVERNADEROS. [En línea] 2013. [Citado el: 14 de Abril de 2015.]

http://www.sabelotodo.org/agricultura/generalidades/consideraciones_constructivas.html.

2014. CONSTRUIR Y ADMINISTRAR RED CBTIS 77 . [En línea] 4 de Octubre de 2014. [Citado el: 12 de Marzo de 2015.]

<http://construiryadministrarredcb7711carlos.blogspot.com/2011/04/cable-par-trenzado.html>.

ECURED. 2011. EcuRED (*conocimiento con todos y para todos*). *EcuRED* [En línea] 01 de 10 de 2011. [Citado el: 29 de 05 de 2015.]

http://www.ecured.cu/index.php/Circuito_integrado_LM324.

EDGAR, BERMEO. 2010. *Repositorio Institucional*. [En línea] 07 de 04 de 2010.

[Citado el: 05 de 06 de 2015.]

<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/258/1/07542.pdf>.

EDUARDO, VITO. 2013. *Urbe*. [En línea] 10 de 08 de 2013. [Citado el: 05 de 07 de 2015.] <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0096018/cap01.pdf>.

2015. ENTORNO LabVIEW 2015. [En línea] 30 de Julio de 2015. [Citado el: 12 de Marzo de 2015.] ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK-ANGEL/10_LabVIEW/Entorno.PDF.

ESPARZA, PEIDRO ALICIA. 2002. [En línea] 28 de 02 de 2002. [Citado el: 05 de 07 de 2015.] <http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>.

GAETE, LEONARDO. 2006. *Universidad de talca*. [En línea] 23 de 01 de 2006. [Citado el: 04 de 06 de 2015.]

http://campuscurico.otalca.cl/~fespinos/leonardo_gaete_vergara.pdf.

GELIS, GUANIPA. 2010. *Guia de Psicometria-Procesos de acondicionamiento de ambientes*. Mexico : UNFEM, 2010.

GOMEZ, CAMPEROS ANDREA. 2011. *Sistema de control*. [En línea] 8 de Septiembre de 2011. [Citado el: 3 de Febrero de 2014.] <http://es.scribd.com/doc/64295893/Sistemas-de-Control-Discreto-vs-Sistemas-de-Control-Continuo#scribd>.

HONEYWELL. 2016. [En línea] 12 de Enero de 2016. [Citado el: 16 de Diciembre de 2015.]

INSTRUMENTS, NATIONAL. 2014. *Fundamentos del Entorno Labview*. [En línea] 2015 de Marzo de 2014. [Citado el: 6 de Febrero de 2014.] <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/environment>.

IZA. 2011. *Introduccion a los sistemas de control discreto*. [En línea] 2011. [Citado el: 3 de Febrero de 2014.] <http://www.isa.uma.es/C14/Presentaciones%20de%20Clase%20%28ppt%29/Document%20Library/SISTEMAS%20DE%20CONTROL%20DISCRETOS.pdf>.

LIBRES. 2016. LOGICA DIFUSA. [En línea] 12 de Febrero de 2016. [Citado el: 2 de Febrero de 2015.] https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa.

LUIS, CHAVARRIA. 2007. *Atlantic international university*. [En línea] 13 de 10 de 2007. [Citado el: 05 de 07 de 2015.] <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/SCADA%20System%20B4s%20&%20Telemetry.pdf>.

LUIS, JOSE. 2010. *Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado*. [En línea] 10 de 10 de 2010. [Citado el: 31 de 05 de 2015.] <http://roble.pntic.mec.es/jlop0164/archivos/el%20transistor.pdf>.

LUIS.F. 2007. *Velasquez Ingenieros Asociados S.A.S.* [En línea] 14 de 03 de 2007. [Citado el: 28 de 05 de 2015.] http://www.velasquez.com.co/aplicaciones/AN_Reles_electromagneticos.pdf.

MACIAS, MERY. 2011. *Repositorio digital*. [En línea] 07 de 12 de 2011. [Citado el: 03 de 06 de 2015.] <http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/2381/1/tesis%20final%20riego%20a%20spersion%20pdf.pdf>.

MARCO, HARO. 2007. *Introduccion a la Instrumentacion*. Riobamba : Espoch, 2007.

MARTINEZ, VERDU JAIME. 2011. *Control Continuo*. [En línea] 2 de Octubre de 2011. [Citado el: 2 de Febrero de 2014.] <http://es.slideshare.net/balzasbravas/control-continuo>.

MAXIMO, ARAYA. 2014. *Sensores de Temperatura*. [En línea] 04 de Octubre de 2014. [Citado el: 11 de Diciembre de 2015.] <http://snsoresdetemperatura.blogspot.com/>.

MODELLUS. 2013. *Estudio del Enfriamiento y equilibrio termico*. [En línea] 03 de Agosto de 2013. [Citado el: 10 de Diciembre de 2014.] <http://www.iesleonardoalacant.es/Departamento-fisica/Experimentos-Modellus/Equilibrio-termico/equilibrio-modellus.htm>.

2015. NATIONAL INSTRUMENTS. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de Marzo de 2015.] http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370401H-01/lvpid/fl_fuzzy_controller/#parent.

2000. NATIONAL SEMICONDUCTOR. [En línea] Noviembre de 2000. [Citado el: 15 de Diciembre de 2015.] <http://www.famosastudio.com/download/datasheet/LM35DZ.pdf>.

NELLY. 2014. Educaycrea. [En línea] 27 de 04 de 2014. [Citado el: 12 de Diciembre de 2015.] <http://www.educaycrea.com/2014/04/propagacion-del-calor-formas-y-ejemplos/>.

OLMO, MARIA DE LOS ANGELES. 2015. *Tutorial de la Introduccion a la Logica Difusa.* [En línea] 2 de Diciembre de 2015. [Citado el: 2 de Enero de 2016.] http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/contenido3.html?page=java/fuzzy/tutfuzzy/contenido3.

ORG, RIEGO. 2014. GLOSARIO DE RIEGO. [En línea] 5 de MARZO de 2014. [Citado el: 23 de Diciembre de 2015.] <http://www.riego.org/glosario/tag/valvula/>.

PACO. 2013. *Coparoman.* [En línea] 2013 de Mayo de 2013. [Citado el: 2 de Febrero de 2014.] <http://coparoman.blogspot.com/2013/05/15-medio-de-programacion-de-un-robot.html>.

PLASTIGAMA. 2014. *Sistemas para Riego por Aspersión Plastigama.* [En línea] Enero de 2014. [Citado el: 18 de Diciembre de 2015.] <http://www.plastigama.com.ec/pdfs/aspersores.pdf>.

RODRIGUEZ, Jorge A. PAG.503, PAG 509. 2014. *Introducción a la Termodinámica.* 2014.

ROMAN, LOPEZ ARNULFO. 2013. *Escalas de Temperatura Habituales y Escalas Absolutas.* [En línea] 10 de Diciembre de 2013. [Citado el: 11 de Diciembre de 2015.] <http://escalas-de-temperatura.blogspot.com/>.

SEVILLA. 2012.[En línea] 10 de Marzo de 2012. [Citado el: 13 de Diciembre de 2015.] <http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Conveccion.gif>.

SINAIS. 2013. *Sistema de Control y Adquisición de datos.* [En línea] 15 de Marzo de 2013. [Citado el: 4 de Febrero de 2014.] <http://www.sinais.es/Productos/SCADA/SCADA.html>.

SISACOP. 2007. *SAGARPA.* [En línea] 06 de 04 de 2007. [Citado el: 05 de 06 de 2015.] <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Invernadero%20R%C3%BAstico.pdf>.

2009. SISTEMAS EXPERTOS Y LOGICA DIFUSA (2009). *Catarina.udlap.mx.* [En línea] 9 de Julio de 2009. [Citado el: 12 de Marzo de 2015.] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo2.pdf.

STEPANENKO. 2013. *Masterhacks*. [En línea] 26 de 02 de 2013. [Citado el: 05 de 07 de 2015.] <http://www.masterhacks.net/manuales/wp-content/uploads/2013/02/MANUAL-B%20C3%81SICO-DE-PROGRAMACI%20C3%93N-EN-LABVIEW-POR-MASTERHACKS.pdf>.

TECNOLOGICO, TIJUANA INSTITUTO. 2015. *Termodinamica*. [En línea] 3 de Septiembre de 2015. [Citado el: 16 de Diciembre de 2015.] <http://termodinamica13.blogspot.com/>.

2013. TRANSDUCTORES, SENSORES Y CAPTADORES. [En línea] 2013. [Citado el: 24 de Abril de 2015.] http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachilerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf.

UVIGO. 2011. *Inteligencia Artificial*. [En línea] 2011 de Enero de 2011. [Citado el: 2 de Febrero de 2014.] <http://ccia.ei.uvigo.es/docencia/IA/1213/transparencias/ejemplo-control-difuso.pdf>.

VALVECO. 2016. [En línea] 05 de Marzo de 2016. http://www.valveco.com.co/p/-valvulas-solenoide-danfoss_3766477/valvula-solenoide-danfoss-ev260b-en-bronce-nc-proporcional_3990233.