



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS**  
**NATURALES NO RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TÍTULO:**

**“SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE HUMEDAD  
RELATIVA DEL AIRE DE UN INVERNADERO DE  
ORQUÍDEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO REINALDO  
ESPINOSA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**

*TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES*

**AUTOR: Gustavo Bladymir Berrú Correa**

**DIRECTOR: Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego, Mg. Sc**

**LOJA – ECUADOR**

**2014**

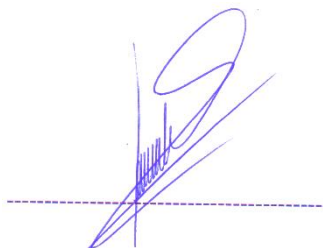
## **CERTIFICACIÓN**

Señor Ingeniero  
Juan Pablo Cabrera Samaniego  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema “**SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DE UN INVERNADERO DE ORQUÍDEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO REINALDO ESPINOSA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**”, previa a la obtención al título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por el egresado **Gustavo Bladymir Berrú Correa**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Octubre de 2014



Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego, Mg. Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo **Gustavo Bladymir Berrú Correa**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** Gustavo Bladymir Berrú Correa



**Firma:** .....

**Cédula:** 1104220999

**Fecha:** 10 de Diciembre de 2014

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo **Gustavo Bladymir Berrú Correa**, declaro ser autor de la tesis titulada: **SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DE UN INVERNADERO DE ORQUÍDEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO REINALDO ESPINOSA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, como requisito para obtener el grado de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diez días del mes de Diciembre del dos mil catorce.

  
**Firma:**.....

**Autor:** Gustavo Bladymir Berrú Correa

**Cedula:** 1104220999

**Dirección:** Loja (Mercadillo 1547 entre 18 de Noviembre y Sucre)

**Correo Electrónico:** ghtavo0101@gmail.com

**Teléfono:** 072687076

**Celular:** 0992121241

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego, Mg. Sc.

**Tribunal de Grado:** Ing. Juan Manuel Galindo Vera, Mg. Sc.

Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldeán, Mg. Sc.

Ing. Jaime Efrén Chillogallo Ordóñez, Mg. Sc.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de tesis lo dedico muy cariñosamente a mi madre, a mis hermanos y a mi sobrina, por ser fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más, por ser mi sustento y apoyo en todo momento, por estar siempre guiándome y brindándome todo su amor y comprensión, y así poder luchar para que la vida me depare un futuro mejor.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiar mis pasos, y darme la sabiduría necesaria para poder salir adelante en mi formación académica. A mi familia por su colaboración, apoyo, inspiración, y guía para llevar acabo el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros y maestros que compartieron sus conocimientos para el desarrollo personal a través de mi formación profesional por la universidad.

# ÍNDICE

<b>A. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>B. RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>b.1 OVERVIEW .....</b>	<b>3</b>
<b>C. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>D. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
<b>d.1 LOS INVERNADEROS.....</b>	<b>6</b>
<b>d.1.1 Tipos de invernaderos .....</b>	<b>6</b>
<b>d.1.1.1 Invernadero Túnel .....</b>	<b>6</b>
<b>d.1.1.2 Invernadero Capilla .....</b>	<b>7</b>
<b>d.1.1.3 Invernadero en Dientes de Sierra .....</b>	<b>8</b>
<b>d.1.1.4 Invernadero Tipo Capilla Modificado .....</b>	<b>9</b>
<b>d.1.1.5 Invernadero con Techumbre Curva .....</b>	<b>9</b>
<b>d.1.1.6 Invernadero Tipo Parral (almeriense).....</b>	<b>10</b>
<b>d.1.1.7 Invernadero Holandés .....</b>	<b>11</b>
<b>d.2 HUMEDAD AMBIENTAL DE LAS ORQUÍDEAS.....</b>	<b>12</b>
<b>d.2.1 Instrumentos para medir Humedad Relativa del aire .....</b>	<b>13</b>
<b>d.3 LÓGICA DIFUSA.....</b>	<b>14</b>
<b>d.3.1 ¿En qué situaciones es útil aplicar la lógica difusa? .....</b>	<b>14</b>
<b>d.3.2 Conjuntos difusos .....</b>	<b>15</b>
<b>d.3.3 Funciones de pertenencia o membresía .....</b>	<b>16</b>
<b>d.3.4 Controlador Lógico Difuso.....</b>	<b>17</b>
<b>d.3.4.1 Fusificación .....</b>	<b>18</b>
<b>d.3.4.2 Base de conocimiento .....</b>	<b>18</b>
<b>d.3.4.3 Inferencia .....</b>	<b>21</b>
<b>d.3.4.4 Defusificación .....</b>	<b>23</b>
<b>d.4 SISTEMAS PARA CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA.....</b>	<b>24</b>
<b>d.4.1 Sistemas de humidificación.....</b>	<b>24</b>
<b>d.4.1.1 Paneles de evaporación .....</b>	<b>25</b>
<b>d.4.1.2 Nebulización .....</b>	<b>27</b>
<b>d.4.1.2.1 Sistema de alta presión.....</b>	<b>28</b>
<b>d.4.1.2.2 Sistema de baja presión.....</b>	<b>29</b>

d.4.1.2.3	Sistemas agua/aire.....	30
d.4.2	Sistemas de deshumidificación .....	30
d.4.2.1	Ventilación forzada .....	31
d.4.2.2	Calefacción.....	33
d.4.2.2.1	Generadores de aire caliente.....	33
d.4.2.2.2	Tuberías de agua caliente .....	35
d.4.2.2.3	Aerotermos .....	37
<b>E.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
e.1	CASO DE ESTUDIO .....	40
e.1.1	Jardín Botánico Reinaldo Espinosa .....	40
e.1.2	Características del Invernadero .....	42
e.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN .....	43
e.2.1	Elementos del sistema de humidificación .....	43
e.2.1.1	Nebulizador Coolnet de 4 boquillas.....	43
e.2.1.2	Electrobomba Pedrollo PKm60 .....	44
e.2.1.3	Manguera de polietileno .....	46
e.2.1.4	Tanque reservorio de agua de 220 litros .....	47
e.2.1.5	Accesorios de plomería .....	48
e.2.2	Cálculo del sistema de humidificación .....	48
e.2.3	Esquema del sistema de humidificación .....	51
e.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN .....	52
e.3.1	Diseño del sistema de ventilación .....	52
e.3.1.1	Elementos del sistema de ventilación .....	52
e.3.1.1.1	Ventilador impulsor Mytek.....	53
e.3.1.1.2	Ventilador extractor Speeco .....	54
e.3.1.2	Cálculos del sistema de ventilación .....	54
e.3.1.3	Esquema del sistema de ventilación.....	59
e.3.2	Diseño del sistema de calefacción .....	60
e.3.2.1	Elementos del sistema de calefacción .....	60
e.3.2.1.1	Ventilador centrífugo Cam York CYT210 .....	60
e.3.2.1.2	Resistencia eléctrica calefactora .....	61
e.3.2.2	Cálculos del sistema de calefacción .....	62
e.3.2.3	Esquema del sistema de calefacción .....	63
e.4	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO .....	64
e.4.1	Elementos del sistema de control automático .....	65
e.4.1.1	Sensor de humedad relativa RHT03.....	65
e.4.1.2	Arduino Mega 2560 .....	68



e.4.1.3	Circuitos de activación .....	69
e.4.1.4	Actuadores.....	71
e.4.1.5	GLCD de 128 x 64 Píxeles.....	71
e.4.1.6	RTC DS1307 .....	72
e.4.2	Diseño del controlador difuso .....	76
e.4.2.1	Definición de variables.....	77
e.4.2.2	Definición de los conjuntos difusos. ....	77
e.4.2.3	Fusificación de las variables de entrada .....	80
e.4.2.4	Base de conocimiento .....	81
e.4.2.5	Método de inferencia.....	86
e.4.2.6	Método defusificación. ....	88
e.5	DIAGRAMAS DE FLUJO .....	90
e.5.1	Diagrama de flujo RTC DS1307 .....	90
e.5.2	Diagrama de flujo sensor RHT03.....	91
e.5.3	Diagrama de flujo general del sistema.....	93
e.5.3.1	Subrutina de los sistemas de calefacción y nebulización.....	95
e.6	DIAGRAMA ELÉCTRICO .....	96
F.	RESULTADOS.....	97
G.	DISCUSIÓN.....	109
H.	CONCLUSIONES.....	118
I.	RECOMENDACIONES.....	120
J.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
K.	ANEXOS .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Invernadero tipo túnel .....	7
Figura 2. Invernadero tipo capilla. ....	8
Figura 3. Invernadero tipo diente de sierra.....	8
Figura 4. Invernadero tipo capilla modificado .....	9
Figura 5. Invernadero con techumbre curva. ....	10
Figura 6. Invernadero tipo parral.....	11
Figura 7. Invernadero Holandés. ....	11
Figura 8. Enfermedades de la orquídea. ....	12
Figura 9. Ejemplo de conjuntos difusos. ....	15
Figura 10. Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular. ....	16
Figura 11. Función de pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal.....	17
Figura 12. Estructura de un modelo difuso.....	17
Figura 13. Proceso de fusificación .....	18
Figura 14. Regla Tipo Mamdani.....	21
Figura 15. Regla tipo Sugeno. ....	21
Figura 16. Representación esquemática de un panel de evaporación.....	25
Figura 17. Sistema panel-ventilador con acción por succión .....	25
Figura 18. Sistema panel-ventilador con acción por presión.....	26
Figura 19. Sistema nebulizador de alta presión.....	28
Figura 20. Nebulizador a baja presión.....	29
Figura 21. Boquilla difusora agua/aire. ....	30
Figura 22. Ventilación por sobrepresión .....	32
Figura 23. Ventilación por depresión .....	32
Figura 24. Ventilación forzada mixta. ....	32
Figura 25. Generador de aire caliente de combustión directa .....	34
Figura 26. Generador de aire caliente de combustión indirecta. ....	34
Figura 27. Calefacción por agua caliente de alta temperatura.....	36
Figura 28. Calefacción por agua caliente de baja temperatura.....	36
Figura 29. Invernadero de orquídeas. ....	41
Figura 30. Nebulizador Coolnet de 4 boquillas.....	44
Figura 31. Electrobomba Pedrollo PKm60. ....	45
Figura 32. Curva característica electrobomba PKm60.....	46
Figura 33. Tanque reservorio de agua de 220 litros. ....	47
Figura 34. Presión de trabajo de los nebulizadores. ....	50
Figura 35. Ventilador inyector Mytek. ....	53
Figura 36. Ventilador extractor Speeco. ....	54
Figura 37. Ventilador centrífugo Cam York. ....	60
Figura 38. Resistencia eléctrica calefactora. ....	61

Figura 39. Diseño del sistema de control automático de humedad relativa .....	64
Figura 40. Sensor RHT03.....	65
Figura 41. Diagrama de bloques sensor RHT03. ....	65
Figura 42. Protocolo de comunicación 1 Wire.....	66
Figura 43. Tiempo de las señales en el protocolo 1 Wire. ....	67
Figura 44. Envío de un bit con valor lógico 0 mediante el protocolo 1 Wire .....	68
Figura 45. Arduino Mega 2560. ....	69
Figura 46. Circuito de activación relé. ....	70
Figura 47. Circuito de activación relé-contactor. ....	70
Figura 48. GLCD de 128 x 64 Píxeles. ....	72
Figura 49. DS1307.....	73
Figura 50. Configuración de pines .....	73
Figura 51. Mapa de direcciones.....	75
Figura 52. Registros RTC.....	75
Figura 53. Lazo de control de humedad relativa. ....	76
Figura 54. Entradas y salidas del controlador difuso.....	77
Figura 55. Conjuntos difusos "Temperatura". ....	78
Figura 56. Conjuntos difusos "Humedad relativa". ....	78
Figura 57. Conjuntos difusos "Tiempo de nebulización". ....	79
Figura 58. Conjuntos difusos "Tiempo de calefacción". ....	79
Figura 59. Conjuntos difusos "Velocidad de ventilación". ....	79
Figura 60. Grado de pertenencia.....	80
Figura 61. Funcionamiento del fusificador.....	80
Figura 62. Formación del polígono de salida. ....	88
Figura 63. Humedad Relativa y Temperatura en tiempo caluroso. ....	98
Figura 64. Entrada Temperatura Noche. ....	99
Figura 65. Entrada Temperatura Día "Ensayo 1".....	99
Figura 66. Entrada Humedad Relativa "Ensayo 1". ....	99
Figura 67. Salida Velocidad de Ventilación.....	100
Figura 68. Salida Tiempo de Nebulización. ....	100
Figura 69. Salida Tiempo de Calefacción. ....	100
Figura 70. Resultado "Ensayo 1".....	101
Figura 71. Entrada Temperatura Día "Ensayo 2". ....	101
Figura 72. Resultado "Ensayo 2".....	102
Figura 73. Entrada Temperatura Día "Ensayo 3". ....	102
Figura 74. Resultado "Ensayo 3".....	103
Figura 75. Entrada Temperatura "Ensayo 4". ....	103
Figura 76. Resultado "Ensayo 4".....	104
Figura 77. Humedad Relativa y Temperatura en tiempo frío.....	104
Figura 78. Resultado "Ensayo 5".....	105
Figura 79. Salida "Tiempo de Nebulización" temperatura y humedad baja. ....	106

Figura 80. Resultado "Ensayo 6".....	107
Figura 81. Resultado "Ensayo 7".....	107
Figura 82. Resultado "Ensayo 8".....	108
Figura 83. Resultado "Ensayo 9".....	108
Figura 84. Características generales del invernadero de orquídeas.....	127
Figura 85. Propiedades del aire. ....	128
Figura 86. Sistema de calefacción "Prueba 1".....	129
Figura 87. Sistema de calefacción "Prueba 2".....	129
Figura 88. Sistema de calefacción "Prueba 3".....	130
Figura 89. Sistema de calefacción "Prueba 4".....	130
Figura 90. Sistema de calefacción "Prueba 5".....	131
Figura 91. Sistema de calefacción "Prueba 6".....	131
Figura 92. Sistema de nebulización "Prueba 1" . ....	132
Figura 93. Sistema de nebulización "Prueba 2" . ....	132
Figura 94. Sistema de nebulización "Prueba 3" . ....	133
Figura 95. Sistema de nebulización "Prueba 4" . ....	133
Figura 96. Sistema de nebulización "Prueba 5" . ....	134
Figura 97. Sistema de nebulización "Prueba 6" . ....	134
Figura 98. Sistema de nebulización "Prueba 7" . ....	135
Figura 99. Sistema de nebulización "Prueba 8" . ....	135
Figura 100. Caja de breakers. ....	136
Figura 101. Supresor de picos. ....	136
Figura 102. Estabilizador.....	136
Figura 103. Boquilla nebulizadora. ....	136
Figura 104. Parte posterior electrobomba PKm60. ....	136
Figura 105. Cebado de la electrobomba PKm60.....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operadores lógicos difusos.....	22
Tabla 2. Sistemas de ventilación forzada. ....	33
Tabla 3. Características del nebulizador Coolnet. ....	44
Tabla 4. Características electrobomba Pedrollo PKm60. ....	45
Tabla 5. Características ventilador inyector Mytek. ....	53
Tabla 6. Características ventilador extractor Speeco.....	54
Tabla 7. Características ventilador centrifugo Cam York. ....	61
Tabla 8. Características resistencia eléctrica calefactora.....	62
Tabla 9. Principales características del sensor RHT03.....	66
Tabla 10. Características básicas de la placa Arduino Mega 2560. ....	69
Tabla 11. Descripción de los pines DS1307.....	74
Tabla 12. Matriz de Asociación Difusa. ....	82
Tabla 13. Reglas de control difuso. ....	85
Tabla 14. Condiciones sensor externo.....	106
Tabla 15. Sistemas de humidificación.....	115
Tabla 16. Sistemas de deshumidificación.....	116
Tabla 17. Tarjetas electrónicas. ....	116
Tabla 18. Tarjetas Arduino.....	117

## **a. TÍTULO**

**“Sistema de control automático de humedad relativa del aire de un invernadero de orquídeas del Jardín Botánico Reinaldo Espinosa de la Universidad Nacional de Loja”**

## **b. RESUMEN**

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de control automático de humedad relativa para un invernadero de orquídeas que se encuentra ubicado en el Jardín Botánico “Reinaldo Espinosa” de la ciudad de Loja y seleccionar e implementar sistemas actuadores apropiados para poder regular la humedad relativa en el interior del mismo.

En este proyecto se usaron tres sistemas actuadores: para humedecer o aumentar la humedad relativa se utilizó un sistema de nebulización a baja presión y para deshumedecer o reducir la humedad relativa se usó un sistema de calefacción y un sistema de ventilación forzada. Cada uno de estos sistemas se seleccionó y dimensionó en base a los valores permisibles de humedad relativa de las orquídeas y a las características del invernadero, como su capacidad volumétrica y los materiales que constituyen su estructura.

Como sistema controlador, se usó un controlador difuso a base de la placa electrónica Arduino Mega 2560, la cual regula y mantiene la humedad relativa a un rango de  $70 \pm 10\%$  dentro del invernadero y a su vez implícitamente también controla la temperatura ambiente de las orquídeas, manteniéndolas en rangos adecuados tanto en el día como en la noche. El controlador difuso implementado en este proyecto es uno de los más básicos y está formado principalmente por la etapa defusificación, base de conocimiento o base de reglas, etapa de inferencia y una etapa de defusificación. Se usaron sensores digitales RHT03 tanto para la medición de las variables como para mejorar el desempeño del invernadero y una pantalla GLCD para visualizar los resultados. Estos sensores son el medio por el cual el controlador difuso tomara las decisiones y activará los sistemas actuadores de acuerdo a las necesidades requeridas.

Por último, se verificó el funcionamiento del sistema, es decir, se pudo observar como el sistema respondió a diferentes características ambientales que se presentaron en el interior del invernadero a lo largo de los diferentes días de prueba, analizando de esta forma el comportamiento del sistema, para seguidamente plantear las respectivas conclusiones y recomendaciones.

## **b.1 OVERVIEW**

The present research has as objective to design and to implement a system of automatic control of relative humidity for an orchid greenhouse located in "Reinaldo Espinosa" in the city of Loja as well as to select and implement appropriate actuators which can regulate the relative humidity inside it.

Three systems actuators were used in this project: to soak or to increase the relative humidity. It was used a low pressure misting and heating system as well as a system to force ventilation or to reduce the relative humidity. Each one of these systems was selected and dimensioned based on the permissible values of relative humidity of orchids and the characteristics of the greenhouse, like its volumetric capacity and materials that make up its structure.

As a controller system, it was used a diffuse controller based on the electronic board Arduino Mega 2560, which regulates and maintains the relative humidity at a range of  $70 \pm 10\%$  inside the greenhouse, and at the same time also controls the temperature of the environment in the orchids house, keeping them in appropriate ranges both day and night. The diffuse controller implemented in this project is one of the most basic and it consists in the stage of the results of the rules, core knowledge or rule base, stage of inference and a stage of the results. RHT03 digital sensors were used for the measurement of the variables to improve the performance of the greenhouse and a GLCD screen to display the results. These sensors are the means by which diffuse driver take decisions and activate actuators systems according to the required needs

Finally, it was verified the functioning of the system, It means it could be observed how the system responded to different environmental characteristics that were presented inside the greenhouse throughout the different days of test, It helped us to analyze the behavior of the system and then to stablish the respective conclusions and recommendations.



## **c. INTRODUCCIÓN**

En los últimos tres años el sector agrario en el Ecuador no ha presentado mayores cambios en su estructura productiva, reflejándose de alguna forma su poco desarrollo en la economía del país, por esta razón surge la necesidad de tecnificar a este sector ya que cada vez son más los desafíos y exigencias que enfrenta el país en un mundo globalizado, forzándolo a especializar aquellas producciones que le permitan una inserción estable en el comercio mundial y así poder competir de igual forma con aquellos países tecnificados.

El rendimiento de los cultivos depende de las condiciones climáticas en todos sus casos, es decir condiciones ambientales favorables aumentan la producción y mejoran la calidad del producto, por tal motivo es recomendable el cultivo bajo invernaderos ya que estos representan una alternativa para alcanzar el máximo rendimiento y disminuir considerablemente amenazas como plagas, enfermedades, falta o exceso de lluvia, vientos, radiación, entre otras. Para mitigar la influencia directa de las variables climáticas existen algunas clases de invernaderos, que de acuerdo a las necesidades o tipos de cultivo éstos son aplicados.

Actualmente en la ciudad de Loja existen invernaderos dedicados al cultivo de un sinnúmero de plantas, cuyo mantenimiento es muy estricto necesitándose en el día e incluso en la noche, es decir las variables climáticas en el interior del invernadero de alguna manera deben ser manipuladas por el hombre aunque se lo haga de forma poco eficiente. La tecnología actual nos propone tratar de reducir estos cuidados que muchas veces en horas-hombre se sale del presupuesto, de ahí surge la necesidad de dotar a los productores agrícolas del uso de nuevas tecnologías como son la implementación de sistemas de control automático en invernaderos.

El uso de sistemas de control automático permiten reducir considerablemente la intervención humana en invernaderos, actuando directamente sobre sus variables climáticas como la humedad relativa, temperatura, radiación, ventilación, entre otras; para luego crear un micro clima en el interior del mismo, en donde se trata de dotar a las plantas de condiciones ambientales favorables para mejorar el rendimiento de los invernaderos y de esta forma mejorar su producción y calidad del producto final,.

Básicamente los sistemas de control automático en el interior de invernaderos permiten el control de variables críticas que se encuentran cambiando constantemente en el ambiente, modificándolas para que permanezcan en un punto de referencia o cierto rango aceptable para los requerimientos del cultivo, mejorando la eficiencia del invernadero y reduciendo costos en mano de obra ya que se requiere menos personal para el cuidado del cultivo.

Una de las variables importantes que se necesita controlar en el interior del invernadero es la humedad relativa del aire, ya que afecta de forma considerable al crecimiento y desarrollo de las plantas. Frente a todo esto, el propósito de este proyecto es implementar un sistema de control automático de humedad relativa del aire en un invernadero de orquídeas del jardín botánico “Reinaldo Espinosa” de la Universidad Nacional de Loja, con la finalidad de mantener un rango adecuado de humedad relativa del aire percibida por las orquídeas, implementarla con el menor costo posible y con la eficiencia necesaria para una producción mayor, para que aquellos agricultores que no tienen un capital suficiente para pagar horas-hombre, tengan una segunda opción económica y puedan adquirir estos sistemas de control para elevar y optimizar su producción agrícola.

Mediante la implementación de un sistema de control automático, primeramente se pretende beneficiar al jardín botánico “Reinaldo Espinosa”, mediante el control de humedad relativa del aire en el interior del invernadero de orquídeas, también hacer un aporte a la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja por medio de información detallada de un sistema de control aplicado a un invernadero y por ultimo apoyar a otras carreras de la misma institución, como ingeniería agronómica e ingeniería agrícola a adquirir conocimientos sobre sistemas de control automático, esto mediante la observación, estudio del sistema implementado en el invernadero y la familiarización de dispositivos electrónicos como las tarjetas programables o plataformas de hardware, para que más tarde los ingenieros agrícolas y agrónomos puedan automatizados otros procesos como por ejemplo sistemas de riego, sistemas de calefacción, entre otros.

## **d. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **d.1 LOS INVERNADEROS**

Un invernadero es una estructura especial que permite reproducir, simular y mejorar las condiciones bajo las cuales crecen las plantas en su hábitat natural, mediante el control de factores como la luz, la temperatura, el aire, la nutrición y la humedad óptima para el crecimiento. Así en el ámbito productivo los invernaderos se plantean como estructuras que permiten reproducir, controlar y mejorar las condiciones ambientales para el crecimiento de los vegetales fuera de temporada o de su distribución geográfica natural. Al permitir recrear las condiciones que son necesarias para el desarrollo de todas las especies vegetales contribuyen al aumento de los rendimientos de alimento por unidad de superficie, haciendo más rentable las actividades agrícolas.

Bajo este enfoque, los invernaderos son estructuras que modifican en menos o mayor medida las condiciones ambientales dependiendo de múltiples factores como el diseño, las características de la estructura, el manejo del invernadero y del cultivo, el equipo de control de factores ambientales, la ubicación geográfica y topográfica, las condiciones ambientales, la época del año y la hora del día. [1]

#### **d.1.1 Tipos de invernaderos**

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atienda a determinadas características de sus elementos constructivos, como por ejemplo, por su forma, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc. Pero la clasificación más común y usual que se les suele dar a los invernaderos es por su forma, y de acuerdo a esto son las siguientes:

##### **d.1.1.1 Invernadero Túnel**

Invernaderos con altura y anchura variables pero, normalmente con una estructura que supera los 2,75 a 3 m<sup>3</sup> de aire encerrado por cada metro cuadrado del suelo.

Sus **ventajas** son: Alta resistencia a los vientos, fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido), alta transmisión de la luz solar, apto tanto para materiales de cobertura flexibles y rígidos.

Sus **desventajas** son: Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica), solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.) [2]



Figura 1. Invernadero tipo túnel. [3]

#### d.1.1.2 Invernadero Capilla

Una de las estructuras más antiguas. La pendiente del techo es variable según la radiación y nivel de lluvias (variando normalmente entre 15 y 35°). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12 m, por largo variable. La altura de los laterales varía entre 2 y 2,5 m, y la de la cumbre de 3,0 a 3,5 m. La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultades, tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías.

Sus **ventajas** son: construcción de mediana a baja complejidad, utilización de materiales con bajo costo según la zona, apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

Sus **desventajas** son: problemas de ventilación con invernaderos en baterías, a igual altura cenital tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos, mayor sombreo y más

número de soportes internos (vigas y columnas) que dificultan el desplazamiento por el invernadero. [2]



Figura 2. Invernadero tipo capilla. [4]

#### d.1.1.3 Invernadero en Dientes de Sierra

Es una variación de los invernaderos de capilla, el mismo que es apropiado para zonas de bajas precipitaciones y altos niveles de radiación solar. Son invernaderos con un único techo, inclinada en ángulos que varían entre los 5° y los 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol.)

Sus **ventajas** son: construcción de baja complejidad y el empleo de materiales de bajo costo.

Sus **desventajas** son: el sombreado es mucho mayor que en las construcciones de capilla, y existe un menor volumen de aire encerrado, para igual altura del cenit, que en el tipo capilla. [2]



Figura 3. Invernadero tipo diente de sierra. [5]

#### d.1.1.4 Invernadero Tipo Capilla Modificado

Es una variante del tipo capilla que consiste en el ensamble a diferentes alturas de cada cambio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital.

Sus **ventajas** son: construcción de mediana complejidad, excelente ventilación y empleo de materiales de bajo costo.

Sus **desventajas** son: sombreado mayor que en el de capilla pero menor que en el de diente de sierra, a igual altura cenital tiene menor volumen de aire encerrado que en los invernaderos curvos, y elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos. [2]



Figura 4. Invernadero tipo capilla modificado. [6]

#### d.1.1.5 Invernadero con Techumbre Curva

Este tipo de invernaderos tienen su origen en los invernaderos túneles. Por lo común son de tipo metálicos, con techumbres metálicas y postes de madera. Dentro de este tipo de invernaderos pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo. Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6 a 8 m de ancho por largo variable.

Sus **ventajas** son: junto con los invernaderos de tipo túnel, el de más alta transmitancia a la luz solar, posee un buen volumen interior de aire (alta inercia térmica), buena resistencia frente a los vientos, espacio interior totalmente libre, y es una construcción de mediana a baja complejidad.

Sus **desventajas** son: tienen la misma limitante que los de tipo capilla cuando se acoplan en batería (no poseen un sistema de ventilación cenital) y no supera los 25-30 m de invernaderos acoplados debido a las dificultades para ventilación. [2]



Figura 5. Invernadero con techumbre curva. [7]

#### **d.1.1.6 Invernadero Tipo Parral (almeriense)**

Son invernaderos originarios de Almería (España), hecha de palos y alambres, denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa. Actualmente existe una versión moderna a los originales que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbre de 3 a 3,5 m, la anchura variable, pudiendo oscilar en 20 m o más por largo variable. La pendiente es casi inexistente, suele darse de 10° a 15°, lo que representa altura de los laterales. En el techo sólo se utiliza un doble entramado de alambre, por entre el cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción.

Sus **ventajas** son: gran volumen de aire encerrado, despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la intercepción de la luz, y eficiente sistema de anclaje que impide que la estructura sea vulnerable a los vientos.

Sus **desventajas** son: deficiente ventilación, escasa capacidad de drenaje, construcción de alta complejidad y escasa pendiente del techo que en zonas de baja radiación solar impide la adecuada captación de luz solar. [2]



Figura 6. Invernadero tipo parral. [8]

#### d.1.1.7 Invernadero Holandés

Invernaderos de vidrio con paneles que descansan sobre los canales de recogida del agua de lluvia. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m. Carecen de ventanas laterales pero tiene ventanas cenitales alternadas en su apertura, cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho.

Sus **ventajas** son: buen comportamiento térmico debido al tipo de material utilizado, alto grado de control de las condiciones ambientales.

Sus **desventajas** son: alto costo, transmitancia afectada por el alto número de elementos de sostén y material vulnerable a elementos exógenos como el polvo, la sal, las algas, etc. [2]



Figura 7. Invernadero Holandés. [9]



## **d.2 HUMEDAD AMBIENTAL DE LAS ORQUÍDEAS**

La humedad es uno de los factores ambientales más importantes en el cuidado de las orquídeas, y a su vez, uno de los que más dificultades nos puede presentar al momento de querer controlarlo en el interior de un invernadero, puesto que este factor es principalmente afectado por el medio ambiente que lo rodea, y por tal motivo es necesario conocer el comportamiento de esta variable y los efectos que causan los extremos de alta y baja humedad en las orquídeas, para poder finalmente lograr un mejor control, y de esta forma mejorar su cultivo.

Las condiciones de alta humedad son más prevalentes en la noche en climas fríos o también durante el día en estaciones frías. En la noche la humedad relativa puede hacerse muy alta con el descenso de la temperatura en el anochecer y mantenerse alta hasta la mañana cuando el calor del sol calienta el invernadero. Pero si este calor del sol es en pequeña cantidad, la atmósfera del invernadero permanece húmeda por todo el día. Tales condiciones de humedad causan serios problemas en el follaje de las orquídeas, es decir, tener una humedad alta en el interior del invernadero por mucho tiempo, estimula a la proliferación de enfermedades (hongos) tales como fungoideas y botrytis. En periodos cortos, básicamente la alta humedad corta la transpiración, por lo tanto reduce la toma y transporte de nutrientes hacia la planta, mientras que la baja humedad produce resequedad en el follaje, una excesiva transpiración y estimula la pérdida de hojas.



**Figura 8. Enfermedades de la orquídea. [10]**

El agua transpirada por las hojas es reemplazada por agua que es tomada por las raíces creando así una corriente de agua dentro de la planta. La transpiración tiene dos funciones

provee refrigeración a las hojas y es el vehículo para la toma y transporte de minerales del suelo tales como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), etc. Los cuales son tomados por las raíces y son transportados a las hojas.

La baja y alta humedad del aire afecta considerablemente a la transpiración de las orquídeas. Es decir, si la transpiración es excesiva u obstaculizada por un largo periodo de tiempo (una semana) la planta no logra producir buenos retoños y comienza a afectar las hojas.

Las orquídeas tienen su hábitat natural en zonas tropicales y subtropicales, y necesitan una humedad ambiental que depende de su especie o género, por ejemplo la Cattleya y Phalaenopsis requiere una humedad ambiental con un rango de 50 a 80%, Las Vanda y Miltonia necesitan una humedad muy alta de 70-80%, la Cymbidium necesita un rango de 40 a 60%, y existen otras de más fácil cultivo que necesitan una humedad ambiental alrededor del 50%.

En general, las orquídeas necesitan temperaturas cálidas y una alta humedad con un rango de aproximadamente de 60-80%. Aunque algunas se han ido adaptando a otras condiciones ligeramente diferentes a las originales. [10]

#### **d.2.1 Instrumentos para medir Humedad Relativa del aire**

**Higrómetros:** éstos son dispositivos digitales o mecánicos, que muestran el porcentaje de humedad relativa del ambiente, muchos termómetros pueden incluir este elemento integrado en un solo módulo, son altamente confiables. Si se requiere, algunos higrómetros cuentan con salida análoga o digital que permite conectarlos a dispositivos de control, con el fin de tomar alguna acción bien sea para aumentar o disminuir la humedad relativa según sea el caso. [10]

**Psicrómetros:** La humedad relativa se puede determinar también por medio de un aparato llamado psicrómetro. Es un aparato que tiene dos termómetros uno, llamado seco, que está en contacto con el aire y mide la temperatura real del aire y otro, llamado húmedo, que

tiene el depósito recubierto de una muselina húmeda mediante una mecha que lo pone en comunicación con un depósito de agua destilada. Debe exponerse a una corriente de aire mediante un ventilador mecánico. Su funcionamiento se basa en la comparación de las lecturas de los dos termómetros. [10]

### **d.3 LÓGICA DIFUSA**

Recientemente, la cantidad y variedad de aplicaciones de la lógica difusa han crecido considerablemente. La lógica difusa es una lógica alternativa a la lógica clásica que pretende introducir un grado de vaguedad en las cosas que evalúa. En el mundo en que vivimos existe mucho conocimiento ambiguo e impreciso por naturaleza. El razonamiento humano con frecuencia actúa con este tipo de información. La lógica difusa fue diseñada precisamente para imitar el comportamiento del ser humano.

La lógica difusa se inició en 1965 por Lotfi A. Zadeh, profesor de la Universidad de California en Berkeley. Surgió como una herramienta importante para el control de sistemas y procesos industriales complejos, así como también para la electrónica de entretenimiento y hogar, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos.

La lógica difusa en comparación con la lógica convencional permite trabajar con información que no es exacta para poder definir evaluaciones convencionales, contrario con la lógica tradicional que permite trabajar con información definida y precisa. [11]

#### **d.3.1 ¿En qué situaciones es útil aplicar la lógica difusa?**

La lógica difusa se puede aplicar en procesos demasiado complejos, cuando no existe un modelo de solución simple o un modelo matemático preciso. Es útil también cuando se necesite usar el conocimiento de un experto que utiliza conceptos ambiguos o imprecisos. De la misma manera se puede aplicar cuando ciertas partes de un sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma confiable y cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras. No es recomendable utilizar la lógica difusa cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución. [11]

### d.3.2 Conjuntos difusos

La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge del hecho que existen conceptos que no tienen límites claros. Un conjunto difuso se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo.

En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores del intervalo entre 0 y 1, y la transición del valor entre cero y uno es gradual y no cambia de manera instantánea como pasa con los conjuntos clásicos. Un conjunto difuso en un universo en discurso puede definirse como lo muestra la ecuación 1. [11]

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (1)$$

Donde  $\mu_A(x)$  es la función de pertenencia de la variable  $x$ , y  $U$  es el universo en discurso. Cuando más cerca este la pertenencia del conjunto  $A$  al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable  $x$  al conjunto  $A$ , esto se puede ver en la figura 9.

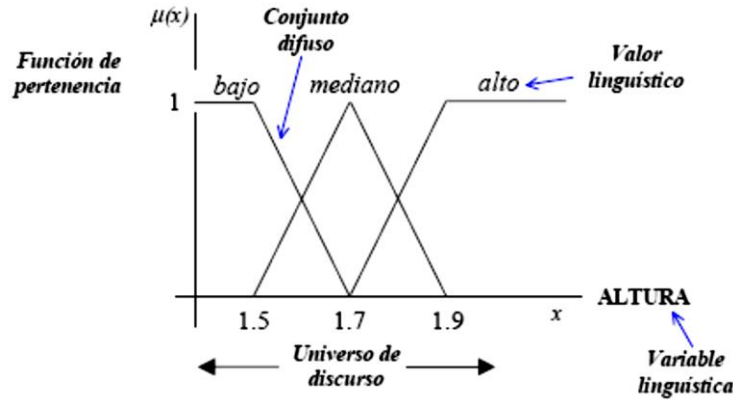


Figura 9. Ejemplo de conjuntos difusos. [11]

A continuación se definen los tres operadores más utilizados:

- La unión de subconjuntos difusos  $A$  y  $B$  es definida  $A + B$  y es expresada por:

$$A + B = \sum_i \mu_A(x_i) \vee \mu_B(x_i) \quad (2)$$

Donde  $\vee$  representa el máximo (max). La unión corresponde al conectivo OR.

- La intersección de A y B se representa A.B y se define por:

$$A.B = \sum_i \mu_A(x_i) \wedge \mu_B(x_i)$$

(3)

Donde  $\wedge$  representa el mínimo (min). La intersección corresponde al conectivo AND.

- El complemento de un conjunto A se representa TA y se define por:

$$\Gamma A = \sum_i 1 - \mu_A(x_i) \quad (4)$$

El complemento corresponde a la negación NOT. [12]

### d.3.3 Funciones de pertenencia o membresía

El grado de pertenencia en los conjuntos difusos, puede ser representado por una función continua, la cual es denominada como función de pertenencia. En otras palabras, si A es un conjunto difuso, entonces la función de pertenencia  $\mu_A(x)$  mide el grado con el cual el valor x pertenece al conjunto A, de la cual puede tomar diferentes formas, dependiendo de la aplicación en particular. Algunas de las funciones más conocidas son: función singleton cuyo valor de pertenencia es igual a 1 para un solo punto y el resto es cero, función trapezoidal, triangular, sigmoideal, gaussiana, entre otras.

La figura 10 muestra una función pertenencia de forma triangular, donde se aprecia que los valores de membresía cambian en forma lineal, y en la figura 11 una función pertenencia de forma trapezoidal. Estas dos funciones de pertenencia son las más usadas para los diseños de controladores difusos. [12]

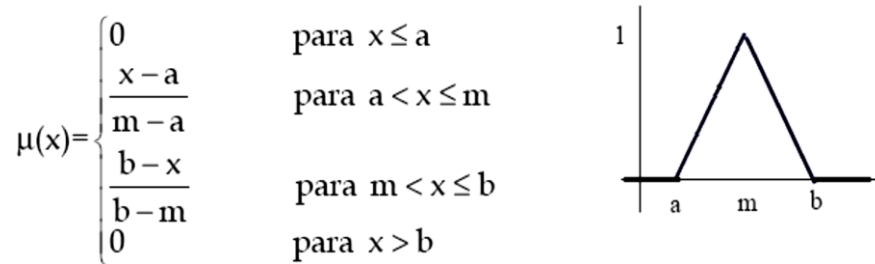


Figura 10. Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular. [11]

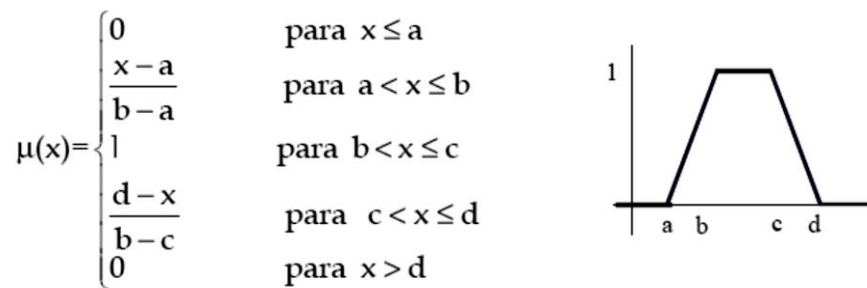


Figura 11. Función de pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal. [11]

#### d.3.4 Controlador Lógico Difuso

La lógica difusa se aplica principalmente en sistemas de control difuso que utilizan expresiones ambiguas para formular reglas que controlen el sistema. Un sistema de control difuso trabaja de manera muy diferente a los sistemas de control convencionales. Estos usan el conocimiento experto para generar una base de conocimientos que dará al sistema la capacidad de tomar decisiones sobre ciertas acciones que se presentan en su funcionamiento. Los sistemas de control difuso permiten describir un conjunto de reglas que utilizaría una persona para controlar un proceso y a partir de estas reglas generar acciones de control. El control difuso puede aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en sistemas cuyos modelos matemáticos sean muy complejos. La estructura de un controlador difuso se muestra en la figura 12. [11]

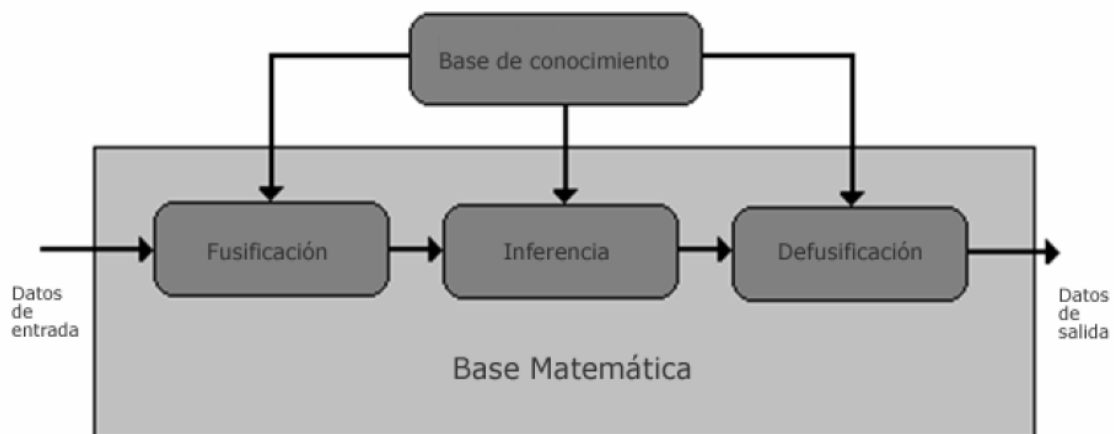
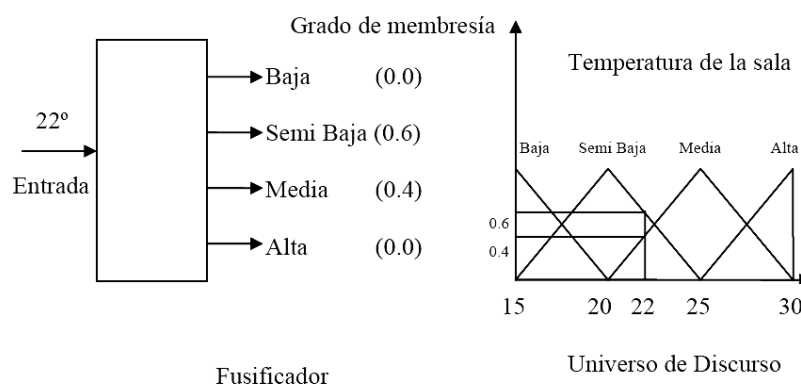


Figura 12. Estructura de un modelo difuso. [11]

#### d.3.4.1 Fusificación

Es el proceso de asignar valores de membresía o pertenencia a un valor numérico de entrada para cada una de las etiquetas difusas que forman la variable lingüística; por ejemplo, la variable lingüística “Temperatura de la sala” puede tomar los valores “baja”, “semi-baja”, “media” y “alta”; para este caso la entrada al fusificador es un valor de temperatura preciso (crisp), y la salida estará formada por los valores de verdad de cada una de las etiquetas: “baja”, “semi-baja”, “media” y “alta”, como se muestra en La figura 13. [12]



**Figura 13. Proceso de fusificación. [12]**

#### d.3.4.2 Base de conocimiento

Se obtiene de la experiencia desarrollada por un operador y de conocimientos sobre Ingeniería de control, y depende del proceso a controlar y los requerimientos de diseño. Está compuesta de dos partes, una base de datos y una base de reglas de control difuso (utiliza variables lingüística). Las bases de reglas también se puede obtener utilizando métodos de optimización. [13]

##### **Base de datos**

Incluye la discretización y normalización de los universos de entrada y salida, la definición de subconjuntos (partición de los universos y funciones de pertenencia) y satisfacer la propiedad de completitud.

- a) Discretización. Debido a la necesidad de discretizar, ya que los datos se procesan en forma digital, este proceso genera niveles cuantizados, cada uno de los cuales representa un elemento genérico en un universo de discurso
- b) Normalización. La normalización del universo discreto puede ser lineal o no.
- c) Partición de los universos. Se refiere al número de etiquetas que toma una variable lingüística; por ejemplo la variable “temperatura de la sala”, puede tomar los valores “muy baja”, “baja”, “media” y “alta”. El número de términos está determinado por las características del sistema a controlar y la calidad de control.
- d) Funciones de pertenencia. Como ya se ha mencionado anteriormente las funciones de pertenencia o membresía, representan gráficamente la relación que mantienen los elementos de un subconjunto difuso, dentro de un universo de discurso, con el grado de pertenencia al conjunto en cuestión. La representación de estas figuras puede tomar diferentes formas, siendo las más utilizadas las de forma triangular y trapezoidal. La utilización de alguna de ellas puede ser de manera arbitraria, dependiendo de la aplicación en particular.
- e) Completitud. Esta propiedad indica a que el algoritmo debe ser capaz de inferir una acción correcta para cada estado del proceso. [13]

### **Base de reglas**

La estrategia de control, derivada de la experiencia se expresa mediante el uso de algoritmos difusos. Las reglas de control que forman el algoritmo difuso pueden definirse usando los siguientes criterios:

- a) Selección de las variables. Las variables de entrada se seleccionan basándose en la experiencia y en conocimientos de Ingeniería y el cambio de error (derivada del error). La importancia de usar la variación de error se ilustra con un caso cotidiano, como es el hecho de atravesar una avenida, para lo cual no solo consideramos la distancia entre un auto y la persona que va cruzar la calle, sino también consideramos muy relevante la rapidez con la que el auto se desplace.



b) Origen y obtención de las reglas de control.

- La experiencia y los conocimientos en Ingeniería de control. Es la que más se utiliza.

En un controlador lógico difuso, su operación dinámica está caracterizada por un conjunto de reglas, compuestas por variables lingüísticas, basada en conocimiento experto es usualmente de la forma:

IF (un conjunto de condiciones son satisfechas) THEN (un conjunto de consecuentes que pueden inferir).

Donde los antecedentes y los consecuentes de las reglas IF-THEN son asociados con conceptos difusos (términos lingüísticos), formando lo que se conoce como declaraciones condicional difusa en donde el antecedente es una condición sobre la base del estado de las variables del proceso y el consecuente es una acción de control para el sistema a controlar (proceso).

c) Tipos de reglas de control

Las reglas difusas emulan el sentido común humano para la toma de decisiones en un determinado proceso, estas reglas deben ser formuladas por un diseñador después de analizar el comportamiento del sistema. Existen dos métodos para implementar reglas difusas: Mamdani, y Sugeno.

- Método Mamdani

Para formar las reglas difusas, por medio del método de Mamdani, se procede a crear una matriz conocida como F.A.M (Fuzzy Associative Memory) sistemas de memoria asociativa difusa, en donde se establecen todas las posibles combinaciones de sus entradas, asociando a las mismas a una salida.

Una vez completa la matriz de reglas, ésta debe ser trasladada a la forma de reglas tipo si/entonces, para esto se puede utilizar las reglas de programación IF/THEN para formular las expresiones condicionales que abarca la lógica difusa. Que serían representadas de la siguiente forma:

$R_1$ : si x es  $A_1, \dots$ , y w es  $B_1$  entonces z es  $C_1$

$R_2$ : si x es  $A_2, \dots$ , y w es  $B_2$  entonces z es  $C_2$

$R_n$ : si x es  $A_n, \dots$ , y w es  $B_n$  entonces z es  $C_n$

IF entrada es baja THEN salida es alta

┆ Antecedente ┆ ┆ Consecuente ┆

Figura 14. Regla Tipo Mamdani.

#### - Método Sugeno

La diferencia de un sistema Sugeno radica en que el consecuente de las reglas obtenidas ya no es una etiqueta lingüística, sino una función de entrada. En este tipo de sistemas, los valores que se obtienen en los consecuentes, por medio de las reglas en un momento determinado, son valores numéricos, por los que ya no necesitan de una etapa de defusificación, su estructura se puede observar en la Figura 15. [14]

IF entrada es baja THEN salida es = F (entrada)

┆ Antecedente ┆ ┆ Consecuente ┆

Figura 15. Regla tipo Sugeno.

### d.3.4.3 Inferencia

Existen algunos métodos para llevar acabo la inferencia, como el método mínimo-máximo, máximo-producto, método basado en funciones monótonas, entre otras, pero el más usado para aplicaciones prácticas es el método mínimo-máximo o de Mamdani.

El método MIN/MAX o de Mamdani primero toma las variables de entrada han sido convertidas a valores de variables lingüísticas, luego identifica las reglas que se aplican a cada situación, y por último determina los valores de la variable lingüística de salida, en el caso que se tenga solo una salida. El siguiente ejemplo muestra cómo se aplica este método el cual está compuesto de dos pasos:

- Agregación, que relaciona los consecuentes de las reglas.
- Composición, el cual procesa los antecedentes de las mismas.

Suponiendo que se está controlando un proceso y las variables lingüísticas de entrada son: “distancia” y “ángulo” y la variable de salida: “potencia”; se pueden escribir a manera de ejemplo, la siguiente base de reglas con los valores de pertenencia de las etiquetas que componen los antecedentes de cada una de las reglas. [15]

**Regla 1** SI distancia = media (0,9) y ángulo = positivo pequeño (0,8) entonces potencia = positiva-media

**Regla 2** SI distancia = media (0,9) y ángulo = cero (0,2) entonces potencia = cero.

**Regla 3** SI distancia = grande (0,1) y ángulo = cero (0,2) entonces potencia = positiva-media.

La parte de la regla 1 combina las condiciones “distancia = media” y “ángulo = positivo-pequeño”, definiendo la validez de la regla en la situación presente. En lógica convencional, la combinación de las dos condiciones se puede evaluar mediante la función Boleana AND. En el caso de la lógica difusa no se puede utilizar la función Boleana AND, porque esta no maneja valores intermedios entre 0 y 1. En este caso se definen conectivos lógicos AND, OR y NOT representados en la Tabla 1.

AND	$A(x) \cap B(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$
OR	$A(x) \cup B(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$
NOT	$A(x)' = \{ 1 - \mu_A(x) \}$

**Tabla 1. Operadores lógicos difusos**

Continuando con el ejemplo, se aplica el Operador AND a los antecedentes de las reglas 1, 2 y 3 obteniéndose el siguiente resultado:

$$\text{Min } (0,9; 0,8) = 0,8$$

$$\text{Min } (0,9; 0,2) = 0,2$$

$$\text{Min } (0,1; 0,2) = 0,1$$

Se aprecia, que las reglas 1 y 3 tienen la misma etiqueta de salida, pero diferentes grados de verdad. En lógica difusa, las reglas que tienen el mismo consecuente se evalúan mediante un operador OR, representado mediante el operador matemático “max”. Lo anterior es parte del método MIN/MAX, llamado composición, que define los valores difusos de salida, para que posteriormente sean utilizados en el proceso de defusificación. El resultado final del ejemplo es el siguiente:

Salida:

$$\text{Positiva media} = \max \{0,1; 0,8\} = 0,8$$

$$\text{Cero} = 0,2$$

#### **d.3.4.4 Defusificación**

Básicamente este proceso, es un mapeo de un espacio de acciones de control difuso definido sobre un Universo de discurso de salida, en un espacio de acciones de control no-difuso (valores precisos), siendo muy importante esta Interfaz, ya que la mayoría de las aplicaciones prácticas de control requieren variables numéricas. De las estrategias más usadas se pueden mencionar las siguientes:

- Método del criterio máximo.
- Método del promedio máximo.
- Método del centro de áreas

#### **Método del criterio máximo**

Da como resultado el punto en el cual la distribución de posibilidades de la acción de control alcanza el valor máximo.

### **Método del promedio del máximo**

Esta estrategia genera una acción de control la cual es el promedio de todas las acciones de control cuyos grados de pertenencia alcanzan el valor máximo.

### **Método del centro de áreas**

Es una de las estrategias más utilizadas, se calcula el centro de gravedad de la distribución de las salidas de control difuso para obtener la señal de control, la cual se aplica al sistema a controlar. [15]

## **d.4 SISTEMAS PARA CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA**

Humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. 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 disminuye la HR, y por el contrario con temperaturas bajas la HR aumenta. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, cuando la HR es mínima las plantas transpiran en exceso y se deshidratan.

Los sistemas utilizados para el control de humedad aprovechan la relación inversa que tiene la temperatura con la humedad, por ejemplo, los sistemas de calefacción son utilizados también como sistemas de deshumidificación ya que al calentar el ambiente la HR disminuye. Existen también sistemas de humidificación los cuales generalmente funcionan con evaporación de agua, disminuyendo la temperatura ambiente y aumentando la HR.

El tipo de sistema a utilizar depende de donde se encuentre el invernadero, es decir, depende del ambiente que lo rodea. A continuación se nombran los sistemas más comunes utilizados en invernaderos.

### **d.4.1 Sistemas de humidificación**

Los sistemas más eficaces normalmente utilizados para humedecer el ambiente (subir la humedad relativa interior) son:

- Paneles de evaporación (pared húmeda)
- Nebulización

#### d.4.1.1 Paneles de evaporación

Consiste en colocar una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se sitúa a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero, y mediante ventiladores helicoidales se succiona o se inyecta aire para que eventualmente el mismo pueda fluir a través del material poroso absorbiendo humedad, y de esta forma aumentando la HR en el interior del invernadero.

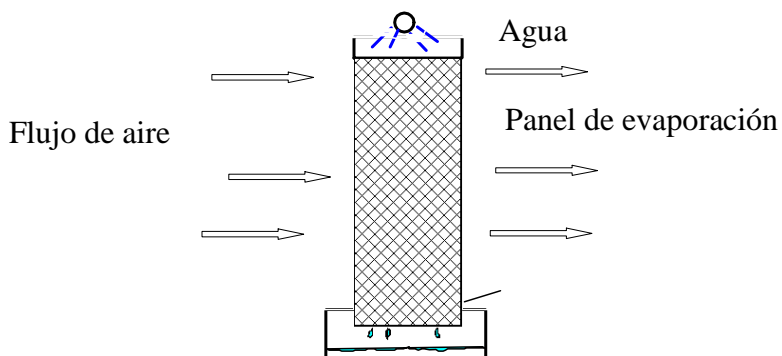


Figura 16. Representación esquemática de un panel de evaporación. [16]

En la práctica se utilizan dos sistemas de paneles de evaporación:

- i. El sistema que actúa por succión (presión negativa) consiste en disponer los paneles de evaporación en la pared opuesta a del extractor (Figura 15). El aire exterior pasa a través del panel, se evapora al atravesar el invernadero, y es extraído por los ventiladores localizados en el lado opuesto. [16]

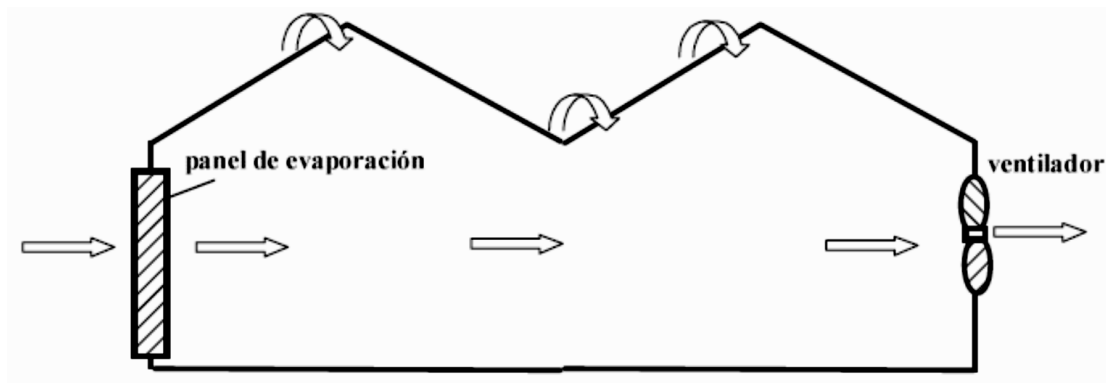


Figura 17. Sistema panel-ventilador con acción por succión. [15]

- ii. El sistema que actúa bajo presión (presión positiva). En este caso los paneles de evaporación y la ventilación se disponen de forma contigua (Figura 16). Los ventiladores se colocan antes del panel de evaporación, generándose en el interior del invernadero una presión superior a la del exterior. [16]

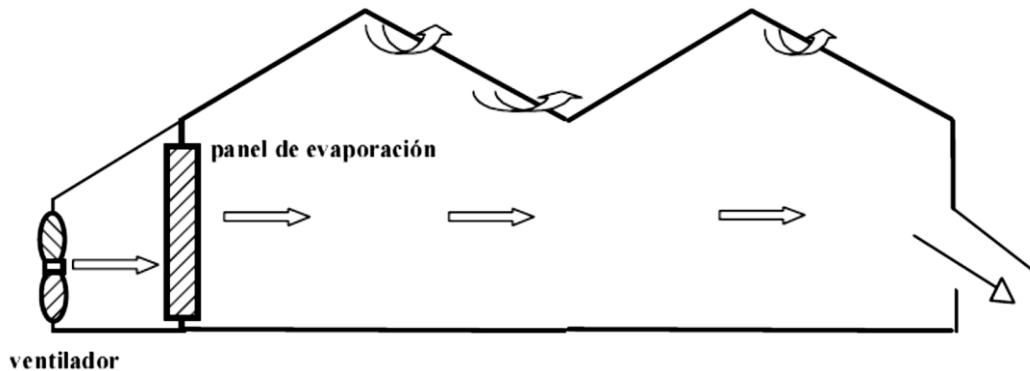


Figura 18. Sistema panel-ventilador con acción por presión. [16]

La eficiencia del sistema depende de la diferencia entre la humedad del aire exterior, que debe pasar a través del panel, y la humedad del panel (en teoría se mantiene a un 100 %). Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la eficiencia del sistema, es decir mayor será el salto térmico. Esto explica que este sistema es más eficiente en zonas con clima seco.

Las características y exigencias generales de este sistema de humidificación pueden resumirse como sigue:

- Los paneles están formados ya sea por virutas de madera o bien por materiales celulósicos que se presentan en forma de láminas impregnadas con aditivos. Actualmente, se utilizan materiales celulósicos que no necesitan un soporte de tela metálica que puede oxidarse con el tiempo.
- El espesor de un panel varía entre 100 y 200 mm, y la superficie total del panel debe de alcanzar, aproximadamente, un  $1 \text{ m}^2$  por cada 20-30  $\text{m}^2$  de invernadero.
- La distancia máxima entre el panel y el ventilador no debe exceder unos 30-40 m.
- La distancia máxima entre ventiladores no debe exceder 10 m.
- La velocidad del aire suele estar comprendida entre 0,5 y 1,75 m/s

- El caudal mínimo de agua, para paneles de 100 mm de espesor, es de unos 10 litros por minuto y por metro lineal de panel.
  - Para que el sistema alcance un buen rendimiento, el invernadero se mantiene con la ventilación natural cerrada.
  - Los paneles se pueden utilizar en áreas de cultivo que tengan agua de baja calidad.
- [16]

El sistema de paneles de evaporización es bastante eficaz para pequeñas superficies (rendimientos de hasta un 85%), se emplea también para bajar temperatura. En invernaderos donde el aire se seca rápidamente, no se aconsejan más de 30 m de recorrido, en invernaderos largos se pueden instalar los ventiladores sobre el techo y las pantallas en ambos extremos. La eficiencia de este sistema también dependerá en gran medida de la estanqueidad del invernadero, para que el aire forzado por los ventiladores penetre a través de la pantalla. Por otro lado las plantas son una barrera por la que el aire circula con dificultad, por todo ello el efecto no es muy uniforme. Es un sistema caro y requiere de un alto mantenimiento. [17]

#### **d.4.1.2 Nebulización**

Los sistemas de nebulización tienen por fin crear una niebla para humedecer y refrigerar el interior del invernadero. Las gotas de agua han de ser lo suficientemente pequeñas para que no lleguen a mojar a las plantas, para evitar el desarrollo de enfermedades y el depósito de las sales de agua, al evaporarse desde la superficie de las hojas, entre dos nebulizaciones. Se consideran óptimos los tamaños de gota de 0,5 a 50 micras, para máxima eficiencia.

Por ello, las gotas deben producirse a cierta altura por encima de las plantas, para que por su tamaño y altura caigan lentamente y se evaporen antes de alcanzar las plantas, absorbiendo energía y reduciendo la temperatura y aumentando la humedad. Puede alcanzar valores de humedad relativa de hasta el 100%. En condiciones de alta radiación, pueden emplearse conjuntamente nebulización y ventilación forzada al mismo tiempo. Si el sistema está bien regulado, el agua no llega a tocar las plantas.



Hay tres tipos de sistemas de nebulización: de agua a alta presión, de agua a baja presión y sistema agua/aire. [18]

#### d.4.1.2.1 Sistema de alta presión

Funcionan a más de 70 bares. Los tubos deben ser de cobre o de acero. Hay dos tipos de difusores (boquillas): de cámara de turbulencia que dan un tamaño de gota del orden de 1 micra, y de aguja que consiguen gotas menores de 10 micras y es el más usado en invernaderos sofisticados,

El caudal de estos difusores es de unos 5 litros/hora, instalando generalmente un difusor por cada 8 a 10m<sup>2</sup> de superficie del suelo del invernadero. El agua debe ser de muy buena calidad con un prefiltrado de 50 a 100 micras seguido de un filtrado de 0,5 a 5 micras. En aguas con bicarbonatos hay que inyectar ácido para llevar el pH a 6,6-6,8.

En la práctica, Lo más funcional es emplear las aguas de lluvia, para evitar obstrucciones. Las obstrucciones inducen un aumento del tamaño de las gotas, por lo que es necesario limpiar los difusores preventivamente, incluso con inmersión en una solución ácida. También es necesario un conjunto formado por bomba(s), motor(es) y tuberías que soportan una elevada presión. Este sistema es muy eficiente, aunque el costo del sistema es caro, y esto puede presentarse como una gran desventaja para determinadas aplicaciones.

[18]

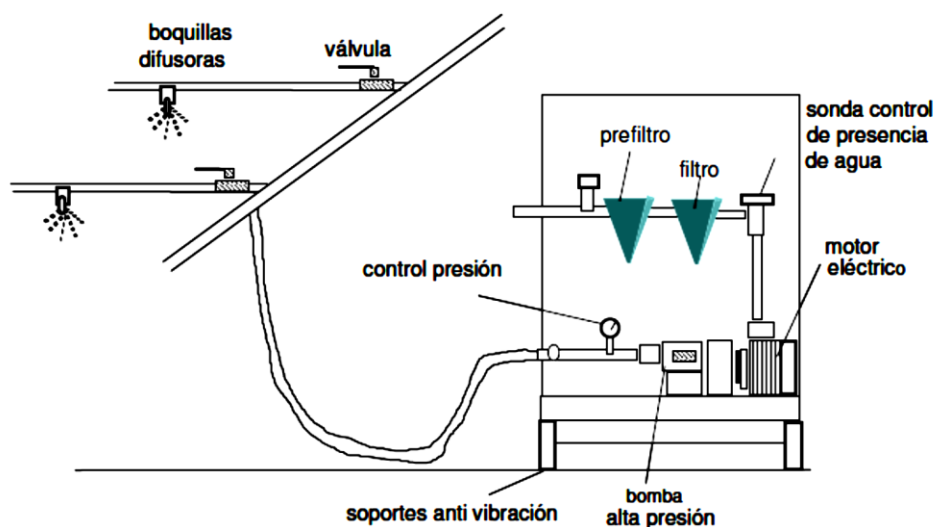


Figura 19. Sistema nebulizador de alta presión. [16]

#### **d.4.1.2.2 Sistema de baja presión**

El sistema de nebulización a baja presión, utiliza agua a presión comprendida entre los 4 y 6 bares. Se coloca un difusor por cada 8 a 12 m<sup>2</sup>, y su caudal es de aproximadamente 7 litros/hora. La falta de calidad del agua no es un problema tan grande como en el anterior sistema, es uno de los sistemas de nebulización más baratos y no tiene problemas de obstrucciones.

En la actualidad se están utilizando distintos tipos de micro aspersores, boquillas o pulverizadores con tamaños de gota que llegan a mojar la planta pero los resultados, dependiendo del tipo de cultivo pueden ser buenos para épocas calurosas por la rápida evaporación y el efecto de descenso de temperatura; en el caso de semilleros y plantas ornamentales el mal recubrimiento y las manchas que producen las gotas pueden ser perjudiciales

El sistema de nebulizadores Coolnet es un sistema de baja presión especialmente diseñado para la humidificación y enfriamiento de invernaderos y ganado, y para riego sobre mesas de germinación. Funciona a 5 bares como máximo, su caudal varía entre 5,5 a 7,5 litros/hora por cada boquilla o difusor, y distribuye uniformemente un tamaño de gota promedio de 65 micras. Este sistema consta de tuberías, de bombas eléctricas, y de tanques reservorios de agua. [17]

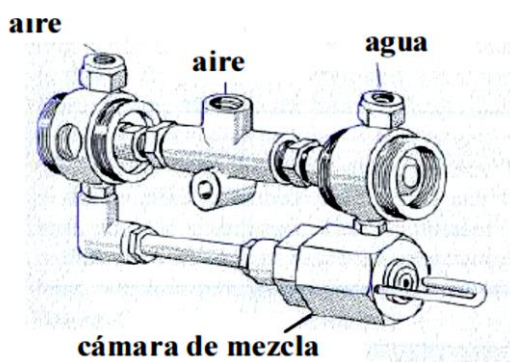


**Figura 20. Nebulizador a baja presión.**

#### **d.4.1.2.3 Sistemas agua/aire**

En este sistema, hay dos circuitos. Un circuito de baja presión para el agua (que funciona entre 2 y 6 bares) y otro de aire comprimido (entre 2 y 3,5 bares). El agua y el aire se canalizan al interior de un atomizador que las difunde en gotitas pequeñas. El tamaño de las gotitas y el caudal de los difusores resultan de las diferencias de presión entre el aire y el agua. Es necesario que la presión del aire sea, al menos, igual a la del agua para conseguir gotitas de tamaño inferior a 10 micras. Si la presión del aire es menor, el tamaño de gota supera las 50 micras de diámetro, con caudales de hasta 50 litros/hora.

Los mejores resultados se consiguen con presiones de 2-25 bares para agua y 3-3,5 bares para aire, siendo los consumos similares a los sistemas de alta presión (6-7 litros /hora) e instalando generalmente un difusor por cada 8 a 10m<sup>2</sup> de superficie del suelo del invernadero. Este sistema no tiene tantos problemas de obstrucción y es fácil de instalar pero resulta más caro que el de alta presión pues necesita un compresor. Para que el equipo funcione correctamente es necesario el uso de válvulas de control., consume bastante energía y el precio de las boquillas difusoras para este sistema es casi prohibitivo. [18]



**Figura 21. Boquilla difusora agua/aire. [16]**

#### **d.4.2 Sistemas de deshumidificación**

Cuando no existen equipos específicos de deshumidificación (como ocurre en la mayoría de los invernaderos), la deshumidificación se consigue calentando y ventilando. Este método es eficaz, pero consume mucha energía y exige una calefacción potente. El Consumo de

energía en la deshumidificación por este procedimiento puede suponer el 15% del total empleado en calefacción en invernaderos bien aislados. Al calentar el aire, éste reduce su HR al subir la presión de vapor de saturación; al ventilar se evita que suba la temperatura y se evacua el vapor de agua en exceso, introduciendo aire fresco de poco contenido en humedad. [18] Los sistemas más eficaces para reducir la humedad relativa son:

- Ventilación forzada
- Calefacción

#### **d.4.2.1 Ventilación forzada**

La ventilación forzada debe realizarse con ayuda de ventiladores que mueven el aire necesario hacia el invernadero. Con este tipo de ventilación se consigue una buena gestión del ambiente, pero requiere una mayor inversión inicial y un mayor consumo energético. Es recomendable usar ventiladores de tipo helicoidal para sistemas de ventilación de invernaderos, y deben situarse diametralmente opuestos a las entradas de aire, de modo que el caudal de ventilación atraviese toda la zona. [18]

La ventilación forzada es útil para reducir la humedad en el interior del invernadero principalmente después de la nebulización cuando se ha alcanzado una humedad alta, y también se utiliza en las mañanas cuando se produce un aumento de contenido de vapor de agua del aire del invernadero debido a que las plantas comienzan a transpirar.

La eficacia de la ventilación forzada para reducir la humedad del aire dependerá del estado del aire que se introduce, es decir, el sistema de ventilación forzada solo podrá reducir la humedad del aire interior a los valores de humedad del aire del exterior. En función de la ubicación de los ventiladores, la ventilación forzada puede ser en depresión, sobrepresión o mixta:

**Ventilación forzada en sobrepresión:** Se obtiene insuflando aire a un local, poniéndole en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica. El aire fluye entonces hacia el exterior por las aberturas dispuestas para ello, y de esta forma introduciendo aire nuevo en la zona. [19]

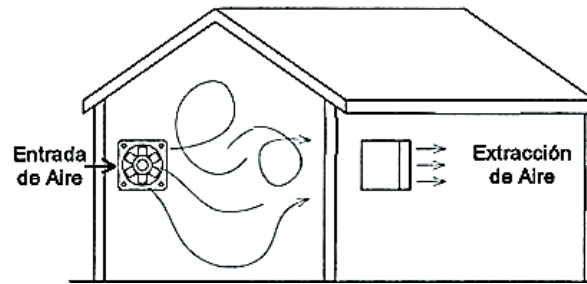


Figura 22. Ventilación por sobrepresión. [19]

**Ventilación forzada en depresión:** Se logra colocando el ventilador extra yendo el aire del local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada, efectuando una ventilación de iguales efectos que la anterior. [19]

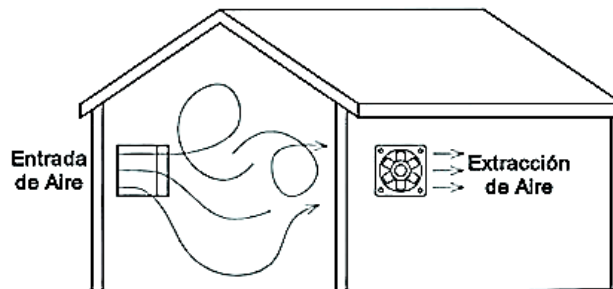


Figura 23. Ventilación por depresión. [19]

**Ventilación forzada mixta:** Consiste en instalar ventiladores tanto a la entrada como a la salida de aire, estando este sistema poco difundido. También son llamados sistemas de ventilación con presión nula. [19]

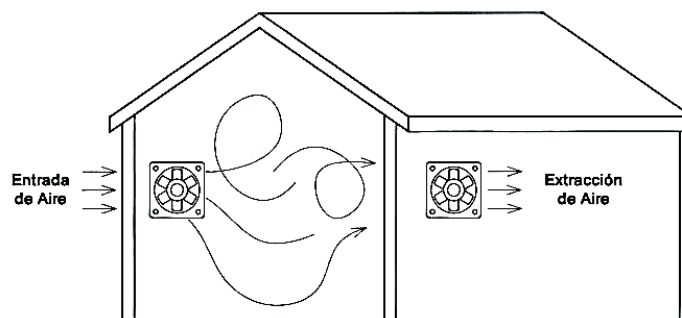


Figura 24. Ventilación forzada mixta. [19]

A continuación se resumen las características de los sistemas de ventilación forzada:

Características	Sistema de ventilación		
	Sobrepresión	Depresión	Mixta
Ámbito de aplicación	Utilización de las fuerzas convectivas	Uso habitual para edificios relativamente bajos	Utilización general
Posibilidad de actuar sobre la distribución del aire introducido	Si	No	Si
Posibilidad de controlar la calidad del aire introducido	Si	No	Si
Posibilidad de controlar la presión dentro del local	Sí, con gradiente térmico (depresión o sobrepresión) No, sin gradiente térmico (sobrepresión)	No (depresión)	Sí (depresión o sobrepresión)
Posibilidad de recuperar calor del aire extraído	No	Si	Si
Independencia del viento en: • Entradas • Salida	Si No	No Si	Si Si
Problemas particulares	Corrientes de aire	Corrientes de aire	Solución costosa para caudales elevados

**Tabla 2. Sistemas de ventilación forzada.**

#### **d.4.2.2 Calefacción**

Los sistemas más utilizados para elevar la temperatura en invernaderos son los siguientes:

- Generadores de aire caliente
- Tuberías de agua caliente
- Aerotermos

##### **d.4.2.2.1 Generadores de aire caliente**

En este caso se emplea aire para elevar la temperatura de los invernaderos. La calefacción por aire caliente consiste en hacer pasar aire a través de focos caloríficos, y luego

impulsarlo dentro de la atmósfera del invernadero. Estos sistemas funcionan mediante la quema de combustible, normalmente un gas. Existen dos sistemas:

**Generadores de combustión directa:** Un ventilador lanza una corriente de aire al interior de la cámara de combustión del generador, con lo que en su salida el aire ya caliente arrastra consigo gases de la combustión, que pueden crear problemas de fitotoxicidad debido a sus componentes azufrados. [20]

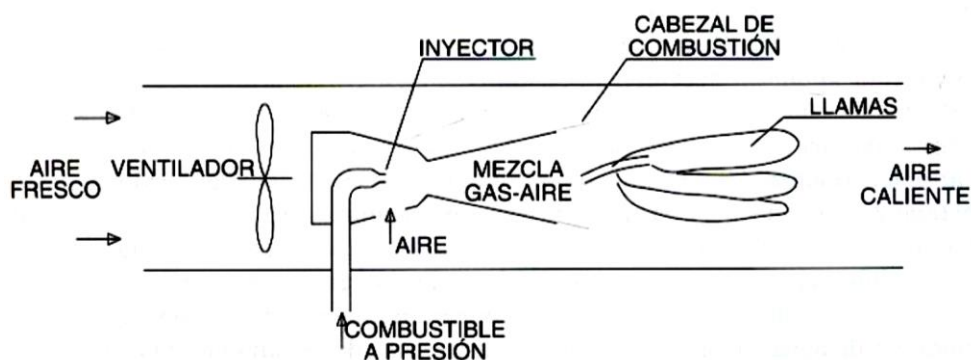


Figura 25. Generador de aire caliente de combustión directa. [18]

**Generadores con intercambiador de calor (combustión indirecta):** La corriente de aire no pasa directamente a través de la cámara de combustión, sino que se calienta atravesando una cámara de intercambio. Por otra parte, la cámara de combustión elimina los gases que se producen en ella a través de una chimenea. [20]

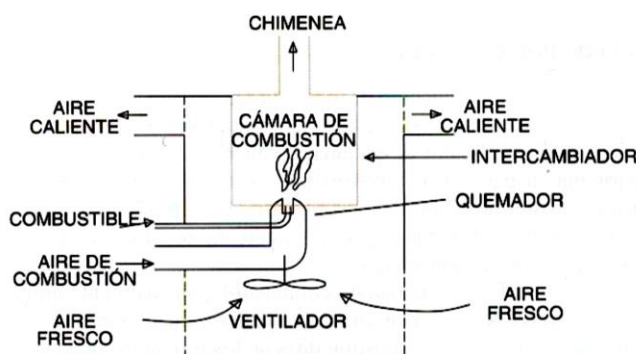


Figura 26. Generador de aire caliente de combustión indirecta. [18]

Los generadores de aire caliente pueden instalarse dentro o fuera del invernadero. Normalmente el combustible empleado es gasoil o propano, y los equipos están dotados de

un sistema eléctrico de encendido con accionamiento a través de un termostato. Entre las características más importantes de estos sistemas tenemos las siguientes:

- La transferencia de calor se hace mediante el principio de convección.
- Proporcionan una deficiente distribución del calor, creando a veces turbulencias internas que ocasionan pérdidas caloríficas (menor inercia térmica y uniformidad.)
- Su costo de funcionamiento es elevado y si se averían, la temperatura desciende rápidamente.
- El combustible a utilizar debe de contener el menor número de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados
- Es importante controlar los niveles de los gases de combustión para evitar problemas a personas y planta. Par el generador de aire de combustión directa el combustible debe de ser limpio, con menos del 0.03% de azufre.
- El rendimiento de estos sistemas suele estar entre el 80% y 90%.
- En estos sistemas se puede mejorar la distribución de calor mediante mangas de plástico flexible perforadas.
- Mediante estos sistemas no se logra calentar el suelo en épocas frías.
- Estos sistemas tienen mejor tiempo de respuesta que los sistemas de tuberías de agua caliente.

#### **d.4.2.2.2 Tuberías de agua caliente**

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías, aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente. Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos, y la de los objetos (suelo, planta, cubierta del invernadero, etc.) que se encuentran a su alrededor por intercambio radiactivo, y se pueden clasificar en sistemas de alta y baja temperatura.

**Sistema de alta temperatura:** Son sistemas convencionales en donde el agua circula a alta temperatura (50-80°C), a alturas de 0.3-10m del suelo. Su eficiencia térmica no es buena, pues pierden el 50% por radiación hacia la cubierta. Deben asociarse a pantallas térmicas que limiten esas pérdidas. Los tubos más empleados son de sección circular, aunque hay



otros tipos y pueden colgarse de cadenas para desplazarlos en vertical al crecer el cultivo. Suelen ser de acero y, también, de aluminio. Hoy en día, se ha generalizado el empleo de los tubos de calefacción a pares, como guías para transporte de carretillas y elementos de mecanización. [18]

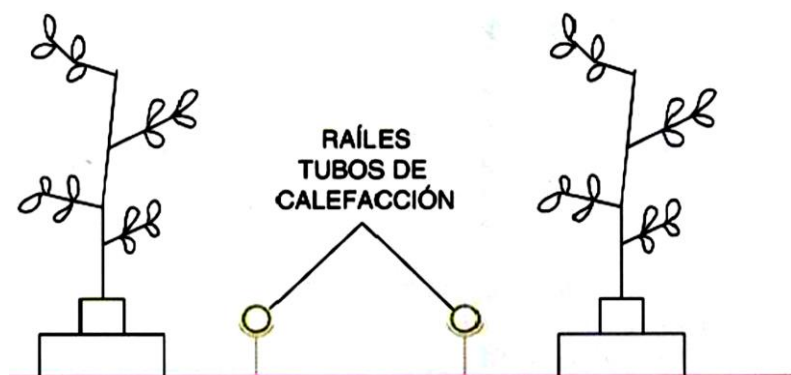


Figura 27. Calefacción por agua caliente de alta temperatura. [18]

**Sistema de baja temperatura:** La calefacción por agua a baja temperatura es un caso particular. Emplea agua a temperatura de 40-50°C. Es calefacción localizada, con tubos fijos o móviles, se coloca lo más cerca posible del cultivo. Se emplea como calefacción de base, asociada a una calefacción de suelo, o como calefacción de apoyo.

El sistema de baja temperatura es barato de inversión en relación al de alta temperatura, fácil de colocar y flexible. Permite ahorros de energía, respecto a los sistemas tradicionales, de hasta un 30%. Sus inconvenientes son que su potencia es limitada, por las bajas temperaturas del agua. Su instalación puede necesitar un gran número de tubos, que puede ser un estorbo. [18]

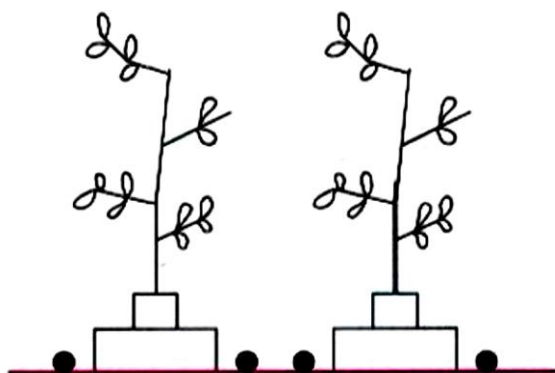


Figura 28. Calefacción por agua caliente de baja temperatura. [18]

Entre las características más importantes de estos sistemas tenemos las siguientes:

- Los sistemas de agua caliente de alta y baja temperatura pueden ser sistemas complementarios.
- El tiempo de respuesta de la calefacción es del orden de 40 a 60 minutos en un sistema eficiente de agua caliente, mientras que se reduce a 10 minutos en un sistema de aire caliente.
- Para mantener una temperatura de aire de 20°C es necesario, es necesario emplear cuatro veces más tubos, si el agua circula a 40°C, que si circula a 80°C, para aportar el mismo calor.
- La transferencia de calor de los tubos de calefacción dependerá del tipo de tubo empleado, y de la diferencia de temperaturas entre el tubo y el aire del invernadero.
- A veces, la calefacción de agua a baja temperatura se emplea para calentar raíces, además de calentar el medio aéreo, y los tubos suelen ser de polietileno.
- La temperatura del agua se regula mezclando agua caliente (de la caldera) con agua fría (del retorno) mediante válvulas de tres vías
- Los sistemas de calefacción por agua caliente permiten distribuir el calor de forma uniforme que los sistemas generadores aire caliente.
- La mayor inercia térmica de los sistemas de agua frente a los de aire permite un mejor control del clima siendo una ventaja, salvo en el caso de una parada del sistema, donde al enfriarse, tardar más en recuperar la temperatura de consigna.
- El agua caliente circula por impulsión de bombas o aceleradores.
- Los sistemas de calefacción por agua caliente, generalmente son costosos.

#### **d.4.2.2.3 Aerotermos**

Se usa preferentemente en recintos pequeños, de entre 100 o 200 m<sup>2</sup>, y se basa en la colocación de uno o varios aparatos enfocados hacia el interior del invernadero. Pueden ser de accionamiento eléctrico exclusivamente, y consisten en un ventilador, y delante del mismo van unas resistencias eléctricas que son las que calienten el aire impulsado. También los hay a base de agua, es decir, que en vez de usar resistencia eléctrica calefactora, delante del ventilador va instalado un serpentín de agua caliente.

### **Aerotermos de agua caliente**

- Constan de un intercambiador de calor formado por una red de tubos con aletas y un ventilador.
- En estos sistemas se hace uso de calderas, y queman combustible como el propano para poder calentar el agua.
- Los aerotermos clásicos funcionan con agua caliente entre 60°C y 100°C;
- Son una opción de coste competitivo que no ocupa espacio en el suelo ya que suelen colocarse colgados de la estructura del invernadero. La caldera se ubica fuera del invernadero
- Una de las ventajas de los aerotermos para determinados tipos de cultivos es que éstos producen una mayor disminución de la humedad relativa del aire en el invernadero, respecto a la que se produce con tuberías de agua caliente.
- Cuando un aerotermo protege secciones grandes del invernadero (20-30 m) se puede distribuir el aire caliente con tuberías de plástico flexible, de diámetro ente 40 y 60 cm, agujereadas regularmente.
- El ruido del ventilador puede ser irritante.

### **Aerotermos eléctricos**

- No contaminan el ambiente, ya que no queman combustible.
- La energía que consumen es la menos peligrosa.
- Fáciles de instalar, automatizar y controlar.
- Mínima mantención.
- Estos sistemas utilizan resistencias eléctricas de alta potencia.
- El tiempo de respuesta es mejor que los sistemas de calefacción por agua caliente.
- La desventaja de estos equipos es que el aire caliente tiende a subir, por lo que parte del calor generado se pierde en zonas de poco interés. Es por esto por lo que los aerotermos se diseñan con potencias eléctricas altas, por tal razón su consumo eléctrico es mayor
- Estos sistemas pueden usar ventiladores helicoidales o centrífugos.

- Estos sistemas son menos costosos que los sistemas generadores de aire caliente o los sistemas de calefacción de agua caliente, ya que no necesitan utilizar una caldera para calentar el agua o el aire.

## **e. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **e.1 CASO DE ESTUDIO**

El lugar donde se realizó el presente proyecto queda ubicado dentro del Jardín Botánico Reinaldo Espinosa, del cual hacemos referencia a continuación.

#### **e.1.1 Jardín Botánico Reinaldo Espinosa**

El Jardín Botánico Reinaldo Espinosa es considerado como laboratorio natural ya que alberga a 1385 especies inventariadas entre nativas, exóticas y endémicas, además cuenta con una considerable fauna asociada a ésta vegetación; fue fundada en el año 1949 por el distinguido Botánico Reinaldo Espinosa con el fin de impulsar la investigación y conservación ambiental. Está ubicado a 5Km de la ciudad de Loja en la vía Loja-Vilcabamba, a 2140 m.s.n.m., con una precipitación anual de 900mm, una temperatura media de 15,3 °C; cuenta con un área aproximadamente de 7 hectáreas en las que se ha tratado de reunir en categorías las plantas más sobresalientes del sur del país.

El Jardín Botánico Reinaldo Espinosa es el más antiguo del Ecuador y el único ubicado en el nudo de convergencia de las corrientes bioclimáticas cálidas húmedas de la Amazonía y cálidas secas de la vertiente del Pacífico, situación que da origen a una diversidad florística única de la hoya y provincia de Loja. Está administrado por la Universidad Nacional de Loja y se halla inscrito en la Organización Internacional para la Conservación de los Jardines Botánicos (BGCI).

En este jardín se puede encontrar una gran variedad de plantas, que pertenecen a la provincia de Loja, Zamora Chinchipe, El Oro y otras latitudes; entre estas plantas se puede encontrar: árboles nativos de la provincia, colecciones de orquídeas, una colección de bonsáis, colecciones de plantas de suelos especiales, cultivos andinos, plantas medicinales y ornamentales entre otras.

En su orquidiario natural se pueden apreciar en su mayoría orquídeas nativas, pero también se ha introducido especies valiosas como: *Oncidium*, *Epidendrum*, *Stanophea*, *Stelis*, *Masdevallia*, *Nanodes Sobralia*, *Catleya*, *Heliconias* y *Bromelias*. También se dispone de invernaderos en los que se ha tratado de asemejar de alguna forma las condiciones

climáticas para algunas especies. En uno de estos invernaderos se necesita mantener un determinado nivel de humedad relativa, el mismo que garantice un crecimiento adecuado para las orquídeas, permitiéndoles obtener las condiciones necesarias para florecer. La humedad relativa es uno de los factores ambientales más importantes dentro del cultivo de las orquídeas, en donde su exceso corta la transpiración de la planta reduciendo la toma y transporte de nutrientes, mientras que la falta de humedad relativa puede estimular una excesiva transpiración produciendo resequedad en el follaje. De ahí surge la necesidad de mejorar el microclima en el interior del invernadero mediante el diseño e implementación de un sistema de control automático de humedad relativa que nos permita básicamente modificar la humedad relativa interna a rangos amigables para las orquídeas. Para modificar la humedad relativa es necesario el uso de sistemas actuadores, en este caso para humedecer el ambiente se lo puede hacer mediante sistemas de boquillas nebulizadoras o el uso de sistemas de pared húmeda, en cambio para reducir la humedad relativa se pueden utilizar sistemas de ventilación mediante la extracción de aire húmedo o mediante sistemas de calefacción como sistemas de tuberías de agua caliente, generadores de aire caliente o aerotermos, que reducen la humedad relativa al aumentar la temperatura interna del invernadero. Todos los sistemas actuadores funcionan de forma automática mediante el uso de sistemas electrónicos, sin necesidad de intervención humana.



**Figura 29. Invernadero de orquídeas.**

### **e.1.2 Características del Invernadero**

El invernadero se encuentra ubicado en el Jardín Botánico Reinaldo Espinosa el cual pertenece al Área Agropecuaria y de los Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja. Este invernadero se asemeja al de tipo techumbre curva; sus dimensiones son: 15,5 m de largo, 5,6m de ancho, 3,5 m de altura máxima de techumbre, 3 m de altura mínima de techumbre, y columnas de hormigón de 3 y 2,5 m de altura.

Tiene un volumen de 303,8 m<sup>3</sup>, de los cuales se pueden ocupar 273 m<sup>3</sup> aproximadamente, esto debido a que en el interior del invernadero se dispone de estructuras de hormigón y piedra en forma de gradas utilizadas como base para poder ubicar las macetas de las orquídeas, las cuales están ubicadas hasta una altura de 1,5 m que equivale aproximadamente a la mitad de la altura del invernadero.

Sus paredes son de hormigón y piedra hasta media altura del invernadero, y a partir de ahí, la paredes están formadas de planchas de policarbonato hasta la altura máxima de techumbre. Las planchas de policarbonato tienen un espesor de 10 mm y están ubicadas en una estructura metálica fina en forma de ventanas. En una de las paredes laterales, en su parte superior existen cuatro ventanas pequeñas de 30 cm de lado, las cuales son manuales y únicamente sirven para mejorar la ventilación.

La cubierta o techumbre curva está formada por planchas de policarbonato, las mismas que están sostenidas por una estructura constituida por tubos metálicos de 2,5". La cubierta no posee ventilación cenital, lo que le proporciona una alta resistencia a los vientos y una buena inercia térmica, es decir, el invernadero es prácticamente hermético y por lo tanto no se tendrá pérdidas de calor considerables. La superficie del suelo también es de hormigón y piedra, y consta de una sola puerta metálica de aproximadamente 2 m de alto. Ver Anexo 1.

El invernadero está destinado exclusivamente para cultivo de orquídeas de clima tropical. También se puede destacar que el invernadero se encuentra en excelentes condiciones, es decir, es relativamente nuevo y no posee ningún sistema de control ya sea manual o automático para poder controlar la humedad relativa en el interior del mismo.

## **e.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN**

El sistema que se eligió para humidificar es el sistema de nebulización de baja presión, que de acuerdo a sus características es el que mejor se adapta en esta aplicación. El sistema está básicamente formado por un conjunto de nebulizadores Coolnet de 4 boquillas dispuestos en la parte superior del invernadero con el objetivo de cubrir la mayor parte del cultivo, una electrobomba que se encarga de inyectar agua con el caudal y presión necesaria al sistema de distribución; un tanque reservorio de agua que le garantiza un caudal constante a la electrobomba; manguera de polietileno de 1 y 3/4" como sistema de distribución del agua y accesorios de plomería para acoples.

### **e.2.1 Elementos del sistema de humidificación**

#### **e.2.1.1 Nebulizador Coolnet de 4 boquillas.**

Es un nebulizador estático súper-fino usado especialmente para la reducción de la temperatura y la humidificación en invernaderos. Está fabricado con materiales plásticos resistentes a ácidos, no gotea después de la nebulización, no se requiere herramientas para desmontarlo, consta de una válvula antidrenante que evita el desagüe de la tubería de distribución, se conectan a una tubería de distribución súper-suave de polietileno (manguera) y para su activación normalmente se usan electrobombas con una presión equivalente a la presión de activación.

Cuando el nebulizador se emplea como enfriador es recomendable disponer de un sistema de ventilación para maximizar el efecto y de esta forma tener un cultivo más fresco, el sistema de ventilación tiene que intercambiar el aire a razón de 20 veces por hora.

Usando la misma técnica que en el enfriamiento, el nebulizador Coolnet puede servir como humidificador, ya que en invernaderos calefaccionados, donde el aire es seco debido al sistema de calefacción, el Coolnet humidifica perfectamente los hábitats de hongos (champiñones), y viveros de plantas tropicales de maceta.





**Figura 30. Nebulizador Coolnet de 4 boquillas.**

Entre las características principales puede señalar las siguientes:

Caudal	2 caudales diferentes: 5,5 y 7,5 l/h
Rango de presión	3 - 5 bares
Tamaño de gota	65 micras
Tamaño de boquilla	0,61 mm
Ubicación	A una altura no inferior a 3 m sobre el nivel del cultivo
Alcance de difusión	1,2 m por cada boquilla
Número de boquillas	Boquilla simple, té (dos boquillas) y Neb.4 (4 boquillas)
Tamaño del estabilizador	30 cm
Limpieza	Aplicación de óptimos tratamientos de ácido

**Tabla 3. Características del nebulizador Coolnet.**

#### **e.2.1.2 Electrobomba Pedrollo PKm60**

Es recomendada para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba. Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines. La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie. [21]



**Figura 31. Electrobomba Pedrollo PKm60. [21]**

Entre sus características más importantes se puede señalar las siguientes:

Potencia	0,5 HP
Caudal	40 l/min = 2400 l/h
Diámetro de descarga	1"
Diámetro de entrada de succión	1"
Presión	40 m. c. a máxima. = 3,92 bares
Voltaje	110 V
Amperaje	5,5 A
Temperatura del liquido	- 10 °C hasta + 60 °C
Temperatura ambiente	+ 40 °C
Condensador	25 µF
Velocidad del motor	2900 rpm
Peso	5,2 Kg
Altura máxima de succión	8 m

**Tabla 4. Características electrobomba Pedrollo PKm60.**

La figura 30 muestra la curva característica de la electrobomba PKm60, en donde se puede observar la relación que existe entre la altura manométrica y el caudal de descarga, es decir su funcionamiento se basa en el caudal utilizado; si se requiere poco caudal la bomba puede trabajar cerca de la presión máxima; y si por el contrario se requiere de un caudal mayor la presión irá disminuyendo. Es necesario conocer estos dos factores para poder tener un buen

criterio al momento de elegir una electrobomba de acuerdo a las necesidades de una determinada aplicación, y más importante aún, poder aprovecharla de una forma más eficiente.

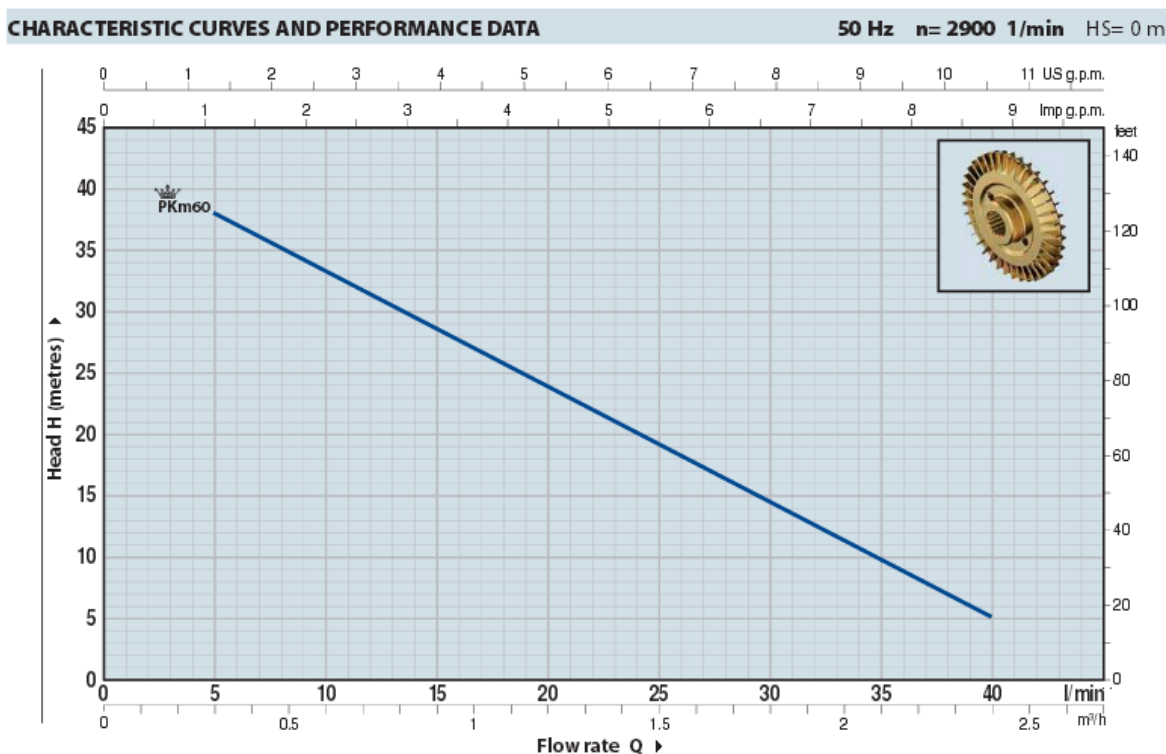


Figura 32. Curva característica electrobomba PKm60. [21]

### e.2.1.3 Manguera de polietileno

La manguera de polietileno es de color negro generalmente, con una capacidad para soportar presiones alrededor de los 7 bares y 10 bares para el tipo de manguera baja y alta calidad respectivamente. Entre sus principales usos se tiene la captación y distribución de aguas en general, distribución de aguas en sistemas de riego (goteo, aspersión), canalización y desagües, y sistemas de acueducto rural. Entre sus principales beneficios se puede mencionar los siguientes:

- No se corroen
- Resistencia mecánica y ductilidad

- Inodoras, atóxicas e insípidas
- Peso reducido
- Color Negro especial para protección contra los rayos solares
- Bajo costo de Adquisición e Instalación
- Alta resistencia a la intemperie
- Larga Vida Útil
- Flexibilidad
- 100% reciclable

#### **e.2.1.4 Tanque reservorio de agua de 220 litros**

Los tanques reservorios de agua son un elemento fundamental en redes de distribución de agua, que normalmente son cilíndricos para capacidades bajas de 220 litros, pueden ser de plástico o metálicos y son utilizados como cisternas para redes de distribución de agua domiciliaria. Los tanques de agua se dimensionan basándose en el consumo que tenga la red de agua en un tiempo determinado (caudal), es decir, cuando el tiempo de consumo es muy alto, los tanques comienzan a vaciarse rápidamente (si el caudal de entrada del tanque es menor que el caudal de salida), y cuando el tiempo de consumo es nulo, los tanques se llenan hasta su capacidad máxima. En determinadas aplicaciones cuando se requiere una determinada presión y caudal, es necesario el uso de electrobombas y por consiguiente el uso de tanques de agua, los cuales permiten que el funcionamiento de las electrobombas sea eficiente.



**Figura 33. Tanque reservorio de agua de 220 litros.**

### **e.2.1.5 Accesorios de plomería**

Los accesorios de plomería para manguera de polietileno se utilizan básicamente como acoples, como adaptadores para diferentes tamaños y formas, y para regular el flujo del fluido en sistemas de distribución de agua. Entre los accesorios más usados comúnmente tenemos: codos, cruces, uniones, tapones, soportes, reductores, llaves, tees, neplo flex, y collarines.

### **e.2.2 Cálculo del sistema de humidificación**

Como primer paso se calcula el número de nebulizadores Coolnet necesarios para cubrir toda el área del cultivo, para lo cual se obtiene primero el área de la sección longitudinal del invernadero. Por facilidad de cálculos se toma al invernadero como un paralelepípedo rectangular. La ecuación para calcular el área es la siguiente:

$$A = L . a \quad (5)$$

Donde:

A = área sección longitudinal [m<sup>2</sup>]

L = largo [m]

a = ancho [m]

Tomando las dimensiones del invernadero se obtiene el siguiente valor:

$$\begin{aligned} A &= L . a \\ A &= (15,5 \text{ m}) (5,6 \text{ m}) \\ A &= 86,8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luego se calcula el área de difusión de cada nebulizador de acuerdo al alcance de difusión de cada boquilla (ver tabla 3).

Como cada nebulizador consta de 4 boquillas dispuestas en forma de cruz, se obtiene un alcance de 2,4 m entre boquillas opuestas. Entonces el área de difusión por cada nebulizador es:

$$\begin{aligned} A_N &= (d)^2 \\ A_N &= (2,4\text{ m})^2 \\ A_N &= 5,76\text{ m}^2 \end{aligned} \tag{6}$$

Donde:

$A_N$  = área de difusión por nebulizador [ $\text{m}^2$ ]

$d$  = alcance entre boquillas opuestas [m]

Por último se obtiene el número de nebulizadores Coolnet usando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} N &= A / A_N \\ N &= (86,8\text{ m}^2 / 5,76\text{ m}^2) \\ N &= 15,07 + 2 \\ N &= 17 \end{aligned} \tag{7}$$

Donde:

$N$  = número de nebulizadores

$A$  = área de la sección longitudinal [ $\text{m}^2$ ]

$A_N$  = área de difusión por nebulizador [ $\text{m}^2$ ]

Nota: se agrega dos nebulizadores al total ya que el invernadero no tiene una estructura exactamente regular.

Como segundo paso se calcula el caudal consumido por el sistema, basándose en el caudal consumido por cada boquilla (ver tabla 3), para luego hallar la presión usada por los nebulizadores de acuerdo a la curva característica de la electrobomba PKm60 (ver Figura 32). El caudal consumido por el sistema es el siguiente:

$$Q = n \cdot q \quad (8)$$

$$Q = 68 (0,125 \text{ l/min})$$

$$Q = 8,5 \text{ l/min}$$

Donde:

$Q$  = caudal del sistema [l/min]

$n$  = número total de boquillas

$q$  = caudal por boquilla [l/min]

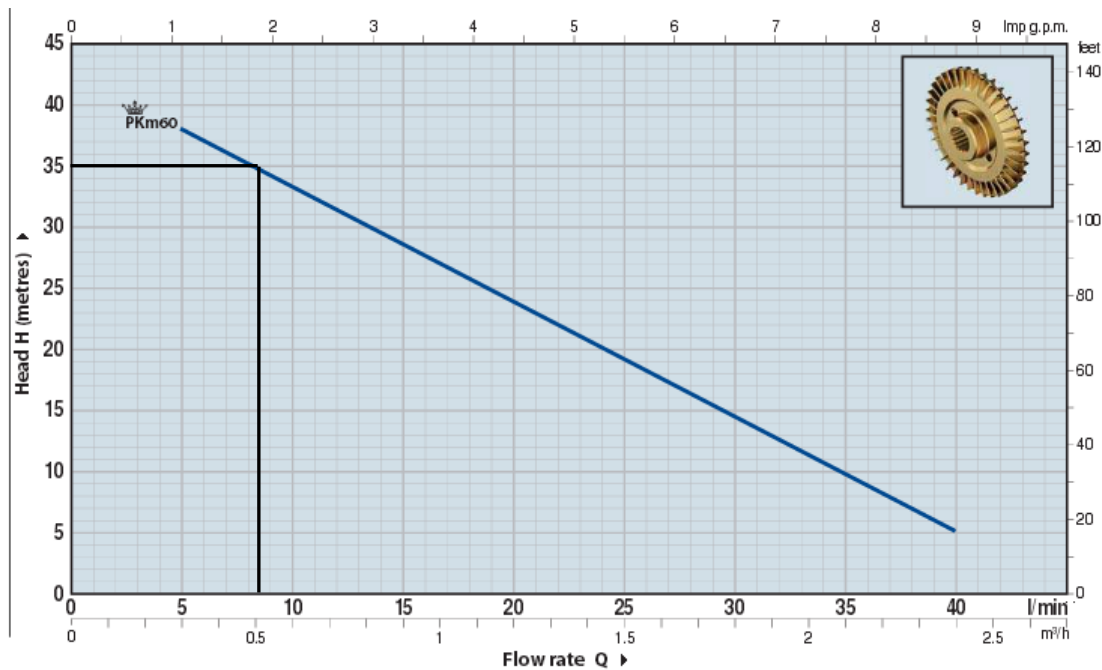
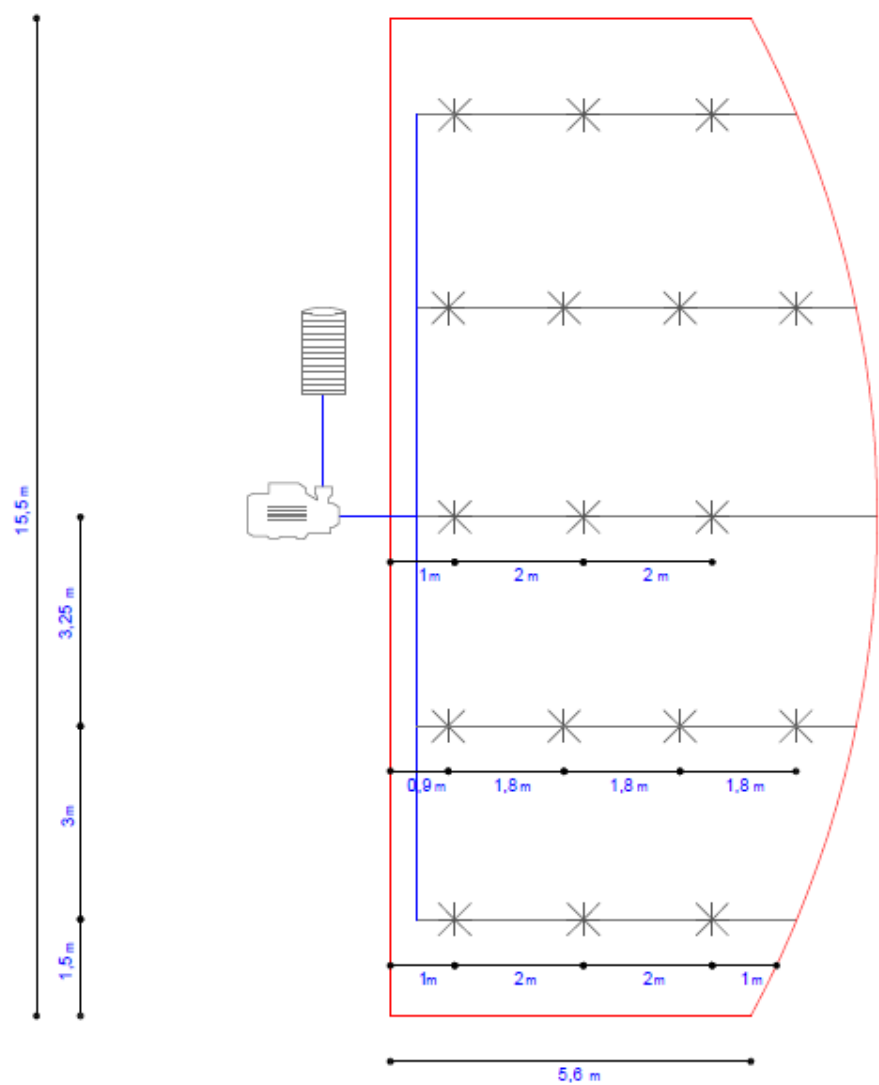







Figura 34. Presión de trabajo de los nebulizadores. [21]

La figura 34 muestra el valor de la presión usada por cada uno de los 17 nebulizadores Coolnet a partir del caudal consumido por el sistema, es decir, a un valor de caudal de 8,5 l/min se obtiene una presión de 35 m.c.a. que equivale aproximadamente a 3,4 bares, la misma que se encuentra en el rango de presión necesaria para activar los nebulizadores (ver tabla 3). A continuación se muestra el esquema del sistema de humidificación, donde se puede observar la ubicación de los nebulizadores, el sistema de distribución de agua, y las conexiones con la electrobomba y el tanque reservorio de agua.

e.2.3 Esquema del sistema de humidificación



Manguera 1"	
Manguera 3/4"	
Nebulizador Coolnet	
Bomba PKm60	
Tanque 220l	



#### **Esquema 1. Sistema de humidificación.**

### **e.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE DESHUMIDIFICACIÓN**

El sistema de deshumidificación está básicamente formado por un sistema de ventilación forzada y un sistema de calefacción. La ventilación forzada se usa especialmente para extraer la humedad sobrante después de humidificar (nebulizar), y el sistema de calefacción mediante el aumento de temperatura se usa para reducir la humedad relativa principalmente en las noches cuando la humedad relativa es alta. A continuación se detallan cada uno de los sistemas:

#### **e.3.1 Diseño del sistema de ventilación**

El sistema de ventilación que se eligió es el sistema de ventilación forzada mixta, que además de mantener una presión nula en el interior del invernadero, permite también controlarla, es decir, el sistema puede funcionar tanto como un sistema de ventilación a sobrepresión como a depresión. El sistema está formado por cuatro ventiladores helicoidales, uno de mayor capacidad encargado de inyectar (impulsor) el flujo de aire necesario al invernadero, y tres ventiladores (extractores) de menor capacidad usados para extraer el aire que se desplaza a lo largo de la estructura.

##### **e.3.1.1 Elementos del sistema de ventilación**

En los ventiladores helicoidales el flujo o corriente de fluido gaseoso es paralelo al eje longitudinal o bien, eje de giro de la hélice, y son apropiados para la impulsión o aspiración de grandes volúmenes de aire a baja presión. Estos ventiladores son los más utilizados para ventilación de locales e instalaciones similares, presentan una gran simplicidad en su montaje, así como la posibilidad que ofrecen de poder invertir la dirección de giro. La principal distinción de estos aparatos es la forma de sus palas, las cuales poseen una inclinación con relación a su eje de manera que al girar el mismo efectúa un movimiento semejante al que haría una hélice o tornillo, en virtud del cual el aire se ve forzado a pasar a través de las mismas adquiriendo la velocidad que dichas palas le transmiten.

#### **e.3.1.1.1 Ventilador impulsor Mytek**

Es un potente ventilador que permite circular el aire en grandes espacios o en lugares donde requieran una gran ventilación. Son de bajo rendimiento, se instalan en pared o piso sin ningún conducto, y son utilizados básicamente con objetivo de renovación de aire. Uso en naves industriales, locales comerciales, etc. Su estructura está fabricada en plástico, dispone de tres velocidades, tiene un bajo costo y no necesitan de un mantenimiento estricto.



**Figura 35. Ventilador inyector Mytek.**

Entre sus características principales se señala las siguientes:

Potencia	138 W
Diámetro de aspas	51 cm
Voltaje	110 V
Amperaje	1,2 A
Caudal	105 m <sup>3</sup> /min
Velocidad del motor	2800 rpm
Peso	3,5 Kg

**Tabla 5. Características ventilador inyector Mytek.**

#### **e.3.1.1.2 Ventilador extractor Speeco**

Es un ventilador de mediana capacidad, que sirve para extraer humo o aire especialmente en almacenes o en lugares comerciales. Su estructura está construida en plástico, está diseñado para la instalación en paredes y muros, produce un bajo nivel sonoro, cubre áreas aproximadamente de 30 a 40 m<sup>2</sup>, y consta de persianas metálicas que están cerradas cuando el ventilador no está en funcionamiento para evitar fugas de aire.



**Figura 36. Ventilador extractor Speeco.**

Entre sus características principales se puede nombrar las siguientes:

Potencia	40 W
Diámetro de aspas	30,4 cm
Voltaje	110 V
Amperaje	0,4 A
Caudal	22 m <sup>3</sup> /min
Velocidad del motor	1000 rpm
Peso	3 Kg

**Tabla 6. Características ventilador extractor Speeco.**

#### **e.3.1.2 Cálculos del sistema de ventilación**

Los cálculos del sistema de ventilación general forzada se basan en el texto de Ventilación Industrial y Control de Polución, versión portuguesa, de Archibald Joseph Macintyre. Como primer paso se calcula el caudal de entrada del ventilador impulsor de acuerdo al

volumen libre en el invernadero, y al número de renovaciones por hora de aire usadas típicamente para complementar un sistema de nebulización. Según [22], durante el tiempo de uso de los equipos de evaporación (nebulización) el invernadero debe estar ventilado para poder homogenizar y extraer la humedad excesiva, y es un error apagar el sistema de ventilación cuando el sistema de nebulización u otros equipos similares están en funcionamiento. Por tal motivo la cifra de 20 renovaciones por hora de aire es un buen término medio para complementar un sistema de evaporación, y es una tasa de ventilación que se la puede alcanzar tanto con ventilación forzada como con ventilación natural.

El caudal del ventilador impulsor es el siguiente:

$$\begin{aligned} Q_{imp} &= V_L \cdot R \\ Q_{imp} &= (273,8 \text{ m}^3)(20 \text{ r/h}) \\ Q_{imp} &= 5476 \text{ m}^3 / \text{h} = 91,27 \text{ m}^3 / \text{min} \end{aligned} \tag{9}$$

Donde:

$Q_{imp}$  = caudal del impulsor [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$V_L$  = volumen libre del invernadero [ $\text{m}^3$ ]

$R$  = renovaciones de aire [ $\text{r/h}$ ]

Luego se calcula el diámetro del ventilador, para una velocidad del aire de 6,5 m/s, que equivale a brisa según la escala de medición de Beaufort, es decir, se encuentra dentro del rango de 5,5 a 7,9 m/s que corresponde también a viento moderado. El diámetro del ventilador impulsor se calcula con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} D_{imp} &= \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{imp}}{\pi \cdot v}} \\ D_{imp} &= \sqrt{\frac{4(1,52 \text{ m}^3 / \text{s})}{\pi(6,5 \text{ m} / \text{s})}} \\ D_{imp} &= 0,54 \text{ m} = 54 \text{ cm} \end{aligned} \tag{10}$$

Donde:

$D_{imp}$  = diámetro del impulsor [m]

$v$  = velocidad del viento impulsado [m/s]

$Q_{imp}$  = caudal del impulsor [ $m^3/s$ ]

Por último se calcula la potencia del ventilador para una presión baja. Según [23], los ventiladores a baja presión son aquellos que no alcanzan los 70 pascales (7 mm.c.a), por lo tanto para este diseño se usa una presión de 50 pascales (5 mm.c.a) y una eficiencia del ventilador del 75%. La potencia del ventilador impulsor es la siguiente:

$$\begin{aligned} P_{imp} &= \left( \frac{Q_{imp} \cdot \Delta p_t}{36700 \cdot \eta} \right) (1,2) \\ P_{imp} &= \frac{(5476 \text{ m}^3 / h)(5 \text{ mm.c.a})}{36700(0.75)} (1,2) \\ P_{imp} &= 0,1194 \text{ KW} = 119,4 \text{ W} \end{aligned} \tag{11}$$

Donde:

$P_{imp}$  = potencia del impulsor [KW]

$\Delta p_t$  = presión total [mm.c.a]

$\eta$  = eficiencia

$Q_{imp}$  = caudal del impulsor [ $m^3/h$ ]

Nota: se aumenta el 20% a la potencia del ventilador para compensar las pérdidas por transmisión.

Como segundo paso se calcula el caudal de cada uno de los tres extractores, que es igual al 20% menos del caudal del ventilador impulsor dividido para tres. Esto es:

$$\begin{aligned} Q_{ext} &= \frac{Q_{imp} - Q_{imp} (0,2)}{n} \\ Q_{ext} &= \frac{(91,27 \text{ m}^3 / \text{min}) - (91,27 \text{ m}^3 / \text{min})(0,2)}{3} \\ Q_{ext} &= 24,3 \text{ m}^3 / \text{min} = 1458 \text{ m}^3 / h \end{aligned} \tag{12}$$

Donde:

$Q_{imp}$  = caudal del impulsor [ $m^3/min$ ]

$Q_{ext}$  = caudal del extractor [ $m^3/min$ ]

$n$  = número de extractores

Luego se calcula el diámetro de cada extractor, basándose en los datos anteriores. El diámetro de cada extractor es el mismo en este caso y se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} D_{ext} &= \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ext}}{\pi \cdot v}} \\ D_{ext} &= \sqrt{\frac{4(0,405 \text{ m}^3 / s)}{\pi(6,5 \text{ m} / s)}} \\ D_{ext} &= 0,28 \text{ m} = 28 \text{ cm} \end{aligned} \quad (13)$$

Donde:

$D_{imp}$  = diámetro del extractor [m]

$v$  = velocidad del viento expulsado [m/s]

$Q_{imp}$  = caudal del extractor [ $m^3/s$ ]

Por último se calcula la potencia de cada extractor para una presión y eficiencia igual que la del ventilador impulsor, y se aumenta de igual forma el 20% a la potencia resultante. La potencia de cada extractor es la siguiente:

$$\begin{aligned} P_{ext} &= \left( \frac{Q_{ext} \cdot \Delta p_t}{36700 \cdot \eta} \right) (1,2) \\ P_{ext} &= \frac{(1458 \text{ m}^3 / h)(5 \text{ mm.c.a})}{36700(0.75)} (1,2) \\ P_{ext} &= 0,032 \text{ KW} = 32 \text{ W} \end{aligned} \quad (14)$$

Donde:

$P_{ext}$  = potencia del extractor [KW]

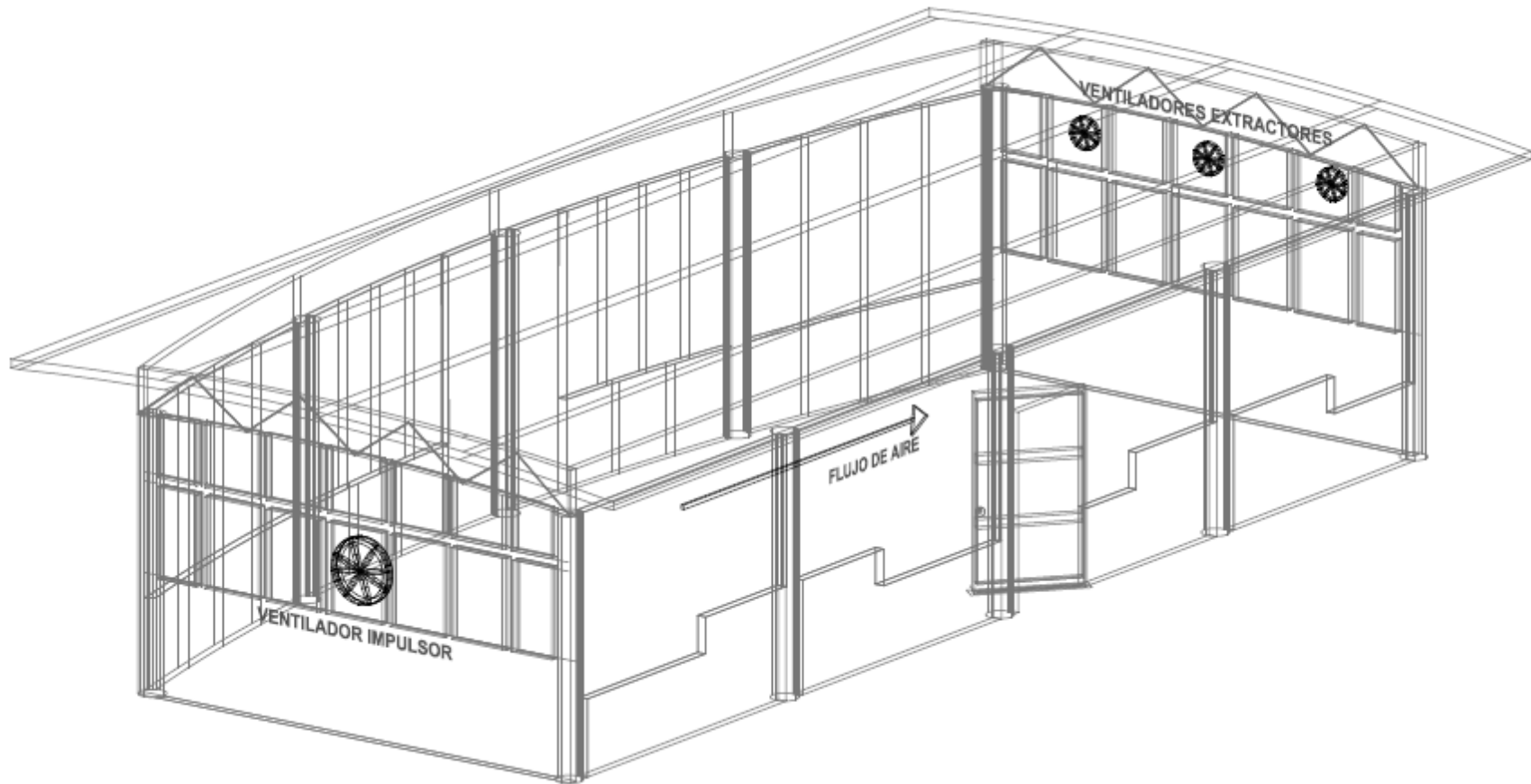
$\Delta p_t$  = presión total [mm.c.a]

$\eta$  = eficiencia

$Q_{ext}$  = caudal del extractor [ $m^3/h$ ]



### e.3.1.3 Esquema del sistema de ventilación



Esquema 2. Sistema de ventilación.



### **e.3.2 Diseño del sistema de calefacción**

El sistema seleccionado para calentar el invernadero es el sistema de calefacción a base de energía eléctrica y ventilación forzada, o también llamado aerotermo eléctrico. El aerotermo eléctrico está formado en este caso por un ventilador centrífugo de mediana presión y una resistencia eléctrica calefactora. La función de la resistencia eléctrica es calentarse hasta su máxima potencia para que eventualmente el ventilador centrífugo haga circular aire a través de ella, realizando de esta forma el intercambio térmico necesario e impulsando y dirigiendo el aire, una vez caliente, hacia el interior del invernadero.

#### **e.3.2.1 Elementos del sistema de calefacción**

##### **e.3.2.1.1 Ventilador centrífugo Cam York CYT210**

Es un ventilador centrífugo de mediana presión con alabes curvados hacia atrás indicado para bajos caudales y elevadas presiones de hasta 1079 pascales (107,9 mm.c.a). Es de simple aspiración y está capacitado para vehicular aire en continuo hasta 80°C, tiene una carcasa de chapa de acero protegida con pintura anticorrosiva, un motor de dos polos, y el conjunto rodete-motor se encuentra equilibrado dinámicamente. Este ventilador es utilizado principalmente en equipos de secado y almacenamiento de granos, aire acondicionado de alta velocidad, aireación de invernaderos, ventilación y aire acondicionado, control ambiental, estufas eléctricas y sistemas de calefacción.



**Figura 37. Ventilador centrífugo Cam York. [24]**

Entre sus principales características se puede señalar las siguientes:

Potencia	200 W
Voltaje	220 V
Presion	1079 Pa
Velocidad del motor	3400 rpm
Caudal	13.6 m <sup>3</sup> /min = 480 cfm
Peso	10 Kg

**Tabla 7. Características ventilador centrifugo Cam York.**

#### **e.3.2.1.2 Resistencia eléctrica calefactora**

Se trata de una resistencia calefactora tabular con forma de espiral fabricada de níquel y cromo compactado en óxido de magnesio electrofundido que asegura un perfecto aislamiento, rigidez dieléctrica y conducción térmica. Dada la extraordinaria versatilidad de su forma y pliegue, la resistencia se puede utilizar en muchísimas aplicaciones de tratamiento térmico del aire, tanto estático como circulante. Se utilizan en calentamiento del aire en convección forzada y natural, inmersión en agua, baterías para aire acondicionado, calefaccionar ambientes, hornos de secado, tratamientos térmicos, etc.



**Figura 38. Resistencia eléctrica calefactora. [25]**

Entre sus principales características se puede señalar las siguientes:

Material de blindaje	Acero inoxidable
Terminal	De tornillo

Voltaje	220 V
Potencia	2 KW
Aislador	Cerámico
Material resistivo	Níquel cromo
Aislante	Óxido de magnesio electrofundido (MgO)

**Tabla 8. Características resistencia eléctrica calefactora.**

### **e.3.2.2 Cálculos del sistema de calefacción**

Se calcula la potencia de la resistencia calefactora basándose principalmente en el incremento de temperatura que se desea obtener en el interior del invernadero y en el caudal del ventilador centrífugo. También se toma en cuenta otros factores como la densidad y el calor específico del aire a la temperatura inicial, y un factor de protección que depende básicamente de los materiales de construcción del invernadero. El incremento de temperatura necesario es de aproximadamente 11°C, ya que la temperatura en el invernadero desciende hasta valores de 9 °C, en donde la temperatura idónea para las orquídeas en las noches debe de estar a 20°C. El caudal del ventilador centrífugo se lo selecciona para hacer recircular el volumen de aire al menos tres veces cada hora, es decir, un caudal de aproximadamente de 816 m<sup>3</sup>/h (480 cfm). Los valores para la densidad y calor específico del aire a una temperatura inicial de 9 °C (48 °F) se los toma de la tabla Propiedades del aire del Anexo 2.

La potencia de la resistencia calefactora es la siguiente:

$$P = \frac{Q \cdot \delta \cdot 60 \text{ min} \cdot C_p \cdot \Delta T \cdot SF}{3412 \text{ BTU} / \text{KW}} \quad (15)$$

$$P = \frac{(480 \text{ cfm})(0,078 \text{ lbs} / \text{pie}^3)(60 \text{ min})(0,24 \text{ BTU} / \text{lbs} \cdot ^\circ\text{F})(20^\circ\text{F})(1,8)}{3412 \text{ BTU} / \text{KW}}$$

$$P = 5,7 \text{ KW}$$

Donde:

Q = Caudal del ventilador centrífugo [cfm]

δ = densidad del aire a la temperatura inicial [lbs/pie<sup>3</sup>]

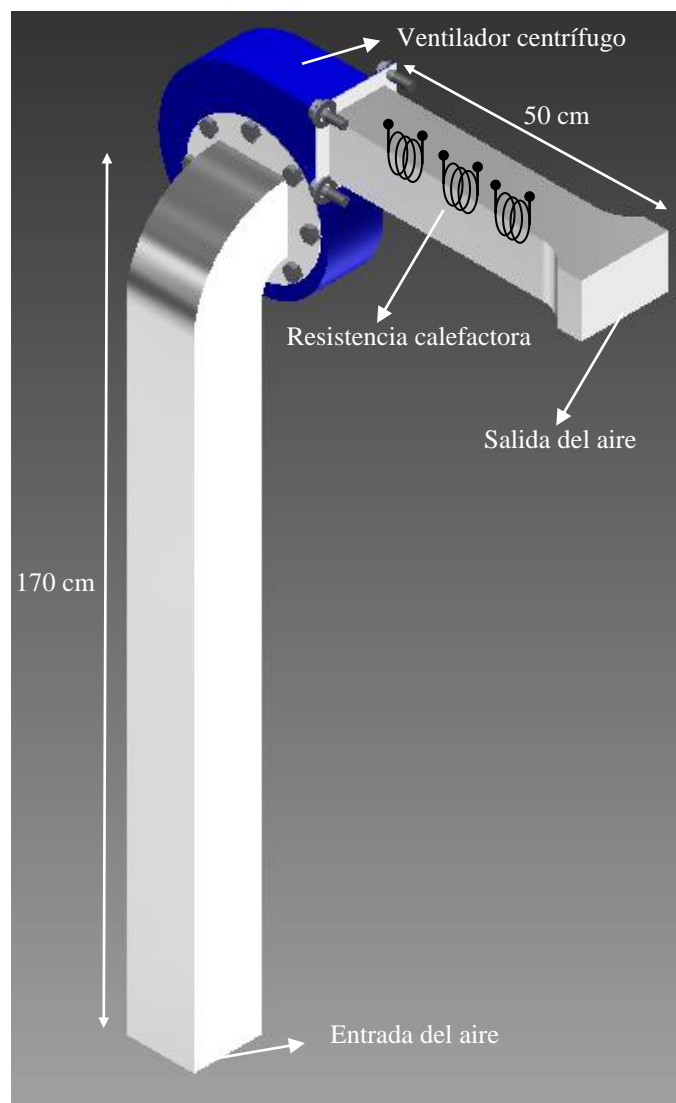
$C_p$  = calor específico del aire a la temperatura inicial [BTU/lbs °F]

$\Delta T$  = incremento de temperatura [°F]

SF = factor de protección sugerido

Nota: se utilizan tres resistencias calefactoras de 2 KW cada una, dando como total una resistencia calefactora de 6KW.

### e.3.2.3 Esquema del sistema de calefacción



**Esquema 3. Sistema de calefacción.**

#### e.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

El sistema de control automático está básicamente formado por los siguientes elementos: cinco sensores de humedad relativa y temperatura RHT03 como elementos transductores, cuatro de ellos ubicados en el interior del invernadero, y el restante ubicado al exterior del mismo; la placa Arduino Mega 2560 como controlador lógico difuso, los sistemas de humidificación (nebulización) y deshumidificación (ventilación y calefacción) como sistemas actuadores, circuitos de activación o de control a base de relés; un reloj RTC DS1307, y la pantalla GLCD o display de cristal líquido gráfica como dispositivo de visualización. Los sensores RHT03 son los encargados de detectar las condiciones del entorno (humedad relativa y temperatura), tanto dentro como fuera del invernadero, es decir, cuando se detecten variaciones en el entorno, se producen pequeñas alteraciones en el sensor que se transforman en señales eléctricas. Estas señales luego son leídas por la placa Arduino Mega 2560 en donde son procesadas y analizadas, esto con el objetivo de emitir señales de control para que por medio de los circuitos de activación se produzcan acciones de control sobre los sistemas de humidificación y deshumidificación, variando de esta forma la humedad relativa en el interior del invernadero y procurando mantenerla en valores anteriormente establecidos en el controlador. Y por último todas las variaciones de humedad relativa son visualizadas en la GLCD para poder determinar el estado del invernadero. A continuación se muestra el diseño del sistema de control automático para el control de humedad relativa del invernadero de orquídeas.

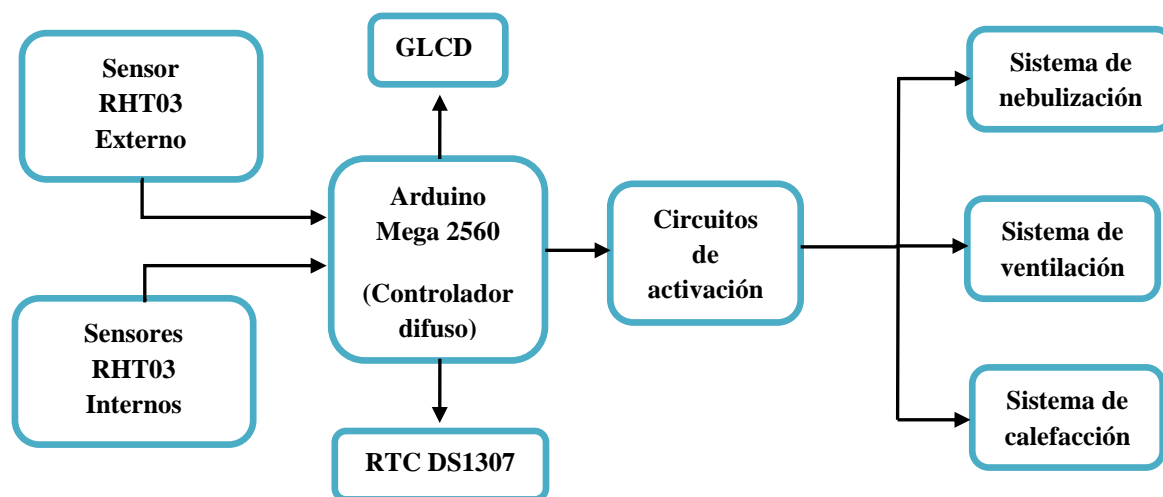


Figura 39. Diseño del sistema de control automático de humedad relativa

#### e.4.1 Elementos del sistema de control automático

##### e.4.1.1 Sensor de humedad relativa RHT03

El sensor RHT03 desarrollado por la compañía china MaxDetect representado en la figura 40, es un dispositivo compacto de bajo consumo de potencia que se destaca por su bajo costo y gran desempeño, cuenta con sensor de tipo capacitivo para medir la humedad relativa y una resistencia variable con la temperatura, conocido típicamente como termistor. [26]

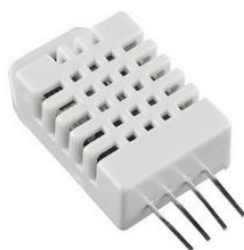


Figura 40. Sensor RHT03. [26]

Los sensores de humedad de tipo capacitivo cuentan con una delgada capa de un polímero muy sensible a las moléculas de agua suspendidas en el aire, el cual varía su permitividad dependiendo de la cantidad de vapor de agua contenido en el ambiente.

El dispositivo cuenta con coeficientes de calibración, por lo que no requiere ajustes al momento de utilizarlo, como se observa en la figura 41, incluye una unidad de control y conversor analógico digital con resolución de 8 bits, por otra parte para la comunicación utiliza el protocolo exclusivo MaxDetect 1Wire bus, el cual permite la transmisión de datos hasta 100 metros por un solo cable. [26] En la tabla 9 se resumen sus principales características.

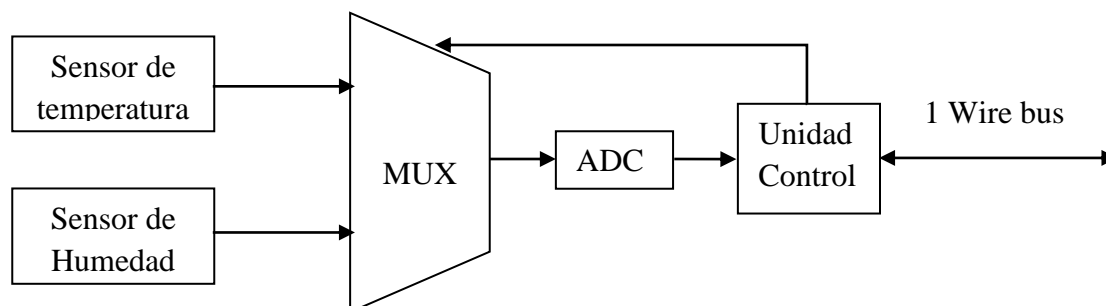


Figura 41. Diagrama de bloques sensor RHT03.

Alimentación eléctrica	3,3VDC – 5VDC
Tipo de salida	Digital (1 Wire bus Maxdetect)
Rango de operación	
Humedad	0 - 100% HR
Temperatura	-40°C - 80°C
Tipo de sensor	
Humedad	Capacitor con polímeros de humedad
Temperatura	Termistor
Resolución	
Humedad	0,1% HR
Temperatura	0,1 °C
Precisión	
Humedad	+/- 2% HR
Temperatura	+/- 0,5 °C
Gran estabilidad	+/- 0,5% HR año

Tabla 9. Principales características del sensor RHT03.

Mediante el protocolo 1 Wire bus se envían los datos por un único pin digital de manera serie, 16 bits de datos para la humedad relativa, 16 bits para la temperatura y 8 bits de datos de comprobación del check-sum. El protocolo 1 Wire bus requiere ciertas consideraciones para la comunicación que se detallan a continuación, para la explicación se le llamará maestro al microcontrolador que solicita los datos al sensor

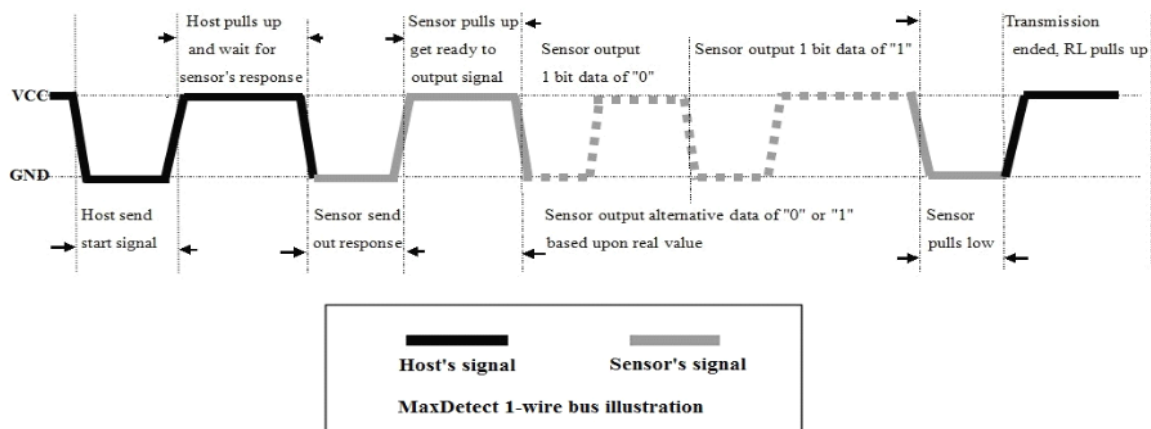


Figura 42. Protocolo de comunicación 1 Wire. [26]

Para iniciar la comunicación como se observa en las figuras 42 y 43, el microcontrolador pone el canal en bajo por un intervalo de 1 a 10ms para asegurar que el sensor detecte la señal, luego lo pasa a alto a la espera de que sensor responda, aproximadamente  $40\mu\text{s}$ , cuando el sensor detecta la señal de inicio del maestro, pasa el canal a bajo por  $80\mu\text{s}$  como señal de respuesta, durante ese tiempo el sensor se prepara para el realizar el envío de datos. [26]

Posteriormente el sensor pone en nivel alto el canal durante otros  $80\mu\text{s}$  e inicia con el envío de datos al maestro.

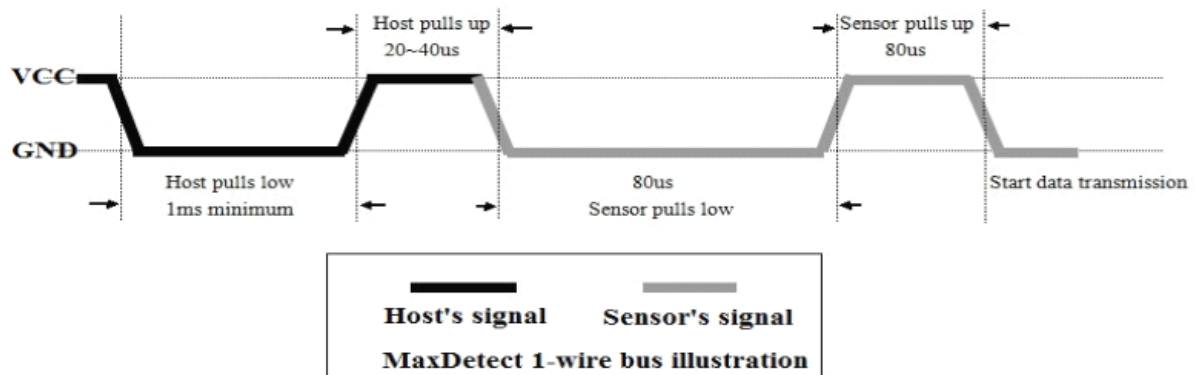


Figura 43. Tiempo de las señales en el protocolo 1 Wire. [26]

Durante el envío de datos, cada bit comienza en nivel bajo con un lapso de  $50\mu\text{s}$ , luego pasa el canal a nivel alto con una duración que depende del valor del bit, cuando se trata de un valor lógico 0 el canal permanecerá en nivel alto durante 26 o  $28\mu\text{s}$ , y para un valor lógico de 1, el canal estará en alto por  $70\mu\text{s}$ . [26]

En las figura 44 se muestra el comportamiento del canal durante el envío de un bit con valor lógico 0.



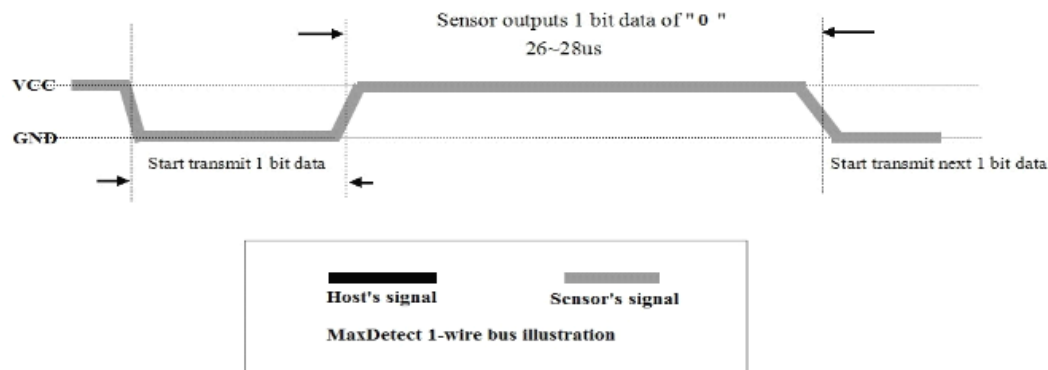


Figura 44. Envío de un bit con valor lógico 0 mediante el protocolo 1 Wire. [26]

#### e.4.1.2 Arduino Mega 2560

Arduino es una plataforma de cómputo libre [open-source] basada en una tarjeta I/O [entradas y salidas] programada en un ambiente con un lenguaje similar a C llamado Processing/Wiring. Arduino puede ser utilizado para desarrollar objetos autónomos e interactivos, capaz de comunicarse con software instalado en una computadora como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Dada su rápida curva de aprendizaje y su bajo precio constituye una herramienta ideal para estudiantes, maestros, diseñadores y cualquier interesado en electrónica y robótica. El software es gratuito y puede ser descargado para Mac OS X, Windows y Linux.

El Arduino Mega 2560 es una placa grande y más potente que las otras placas Arduino, electrónicamente está basado en el microcontrolador Atmega 2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar código de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Tiene 54 pines digitales de entrada/salida de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM, además 16 entradas analógicas, 4 puertas seriales, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Para empezar a trabajar con el microcontrolador basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o desde la red eléctrica con un adaptador AC-DC o batería. A diferencia de las demás tarjetas Arduino esta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. [27]

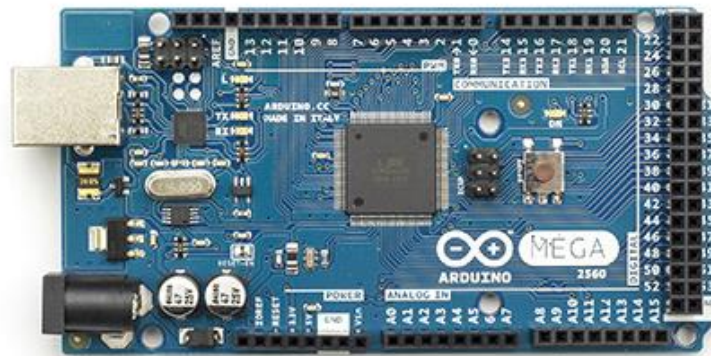


Figura 45. Arduino Mega 2560. [27]

Voltaje de alimentación	5V
Tensión de entrada recomendada	7-12V
Límite de entrada	6-20V
Pines digitales	54 (15 con PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente máxima por pin	40mA
Corriente máxima para el pin 3,3V	50mA
Memoria Flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16MHz

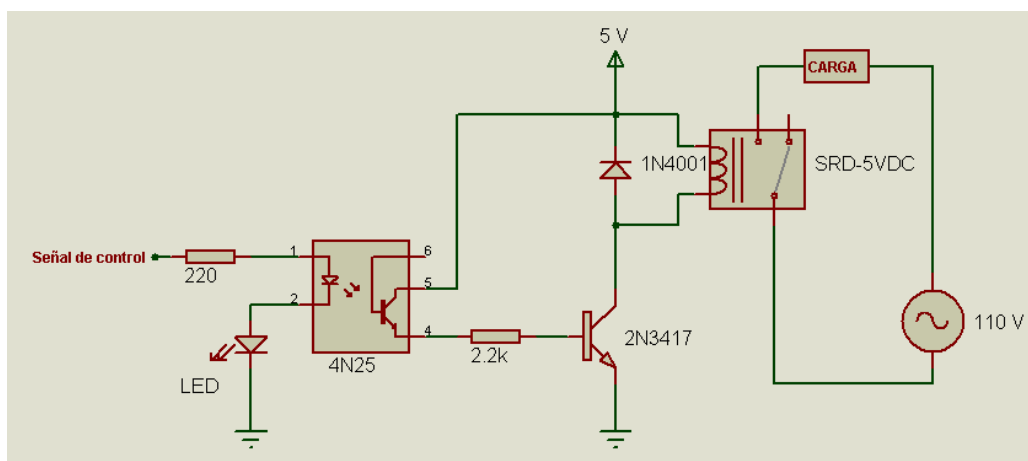
Tabla 10. Características básicas de la placa Arduino Mega 2560.

#### e.4.1.3 Circuitos de activación

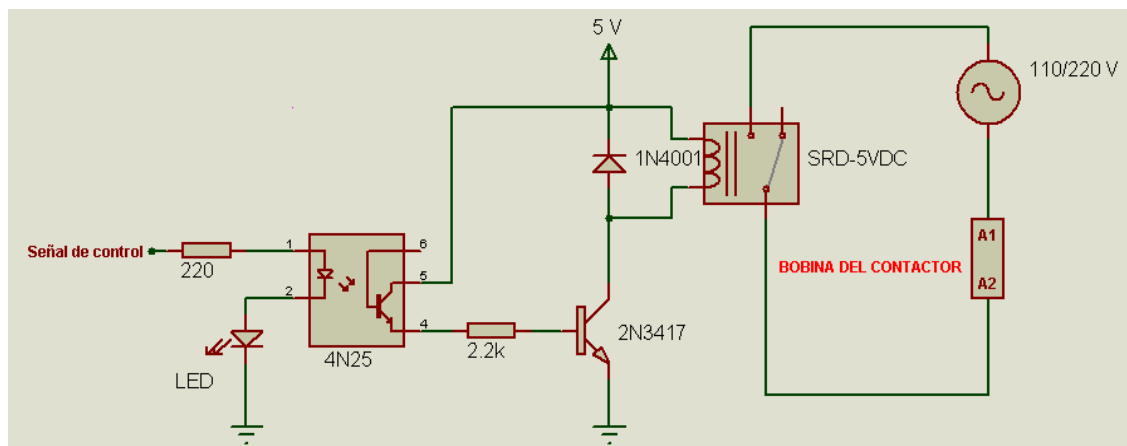
El circuito que se muestra en la figura 46 está constituido principalmente por un optotransistor (4N25) y un relé electromecánico, éste último soporta como máximo corrientes de 10A a tensiones de 250V, y sirve para accionar el ventilador impulsor y los tres extractores del sistema de ventilación, es decir, el circuito en este caso solamente sirve para activar cargas de baja potencia. Por otro lado para accionar las cargas de alta potencia (resistencia calefactora, ventilador centrifugo, y electrobomba) se utiliza el circuito de la

figura 47, el cual es similar al circuito de la figura 46 pero con la diferencia que no se activa directamente las cargas, sino que primeramente se activan las bobinas de los contactores para que eventualmente se puedan conmutar las cargas. La resistencia calefactora y el ventilador centrífugo del sistema de calefacción utilizan contactores con tensiones de 220V y corrientes de 40A y 12A respectivamente, y la electrobomba del sistema de nebulización utiliza un contactor de 110V que soporta valores de corriente de hasta 12A.

Ambos circuitos reciben una señal de control proveniente de la placa Arduino Mega 2560, la cual hace que circule o no corriente por el diodo led del optoacoplador, activando o desactivando de esta forma los relés, dando como resultado el encendido o apagado de los sistemas actuadores que conforman el sistema de control.



**Figura 46. Circuito de activación relé.**



**Figura 47. Circuito de activación relé-contactor.**

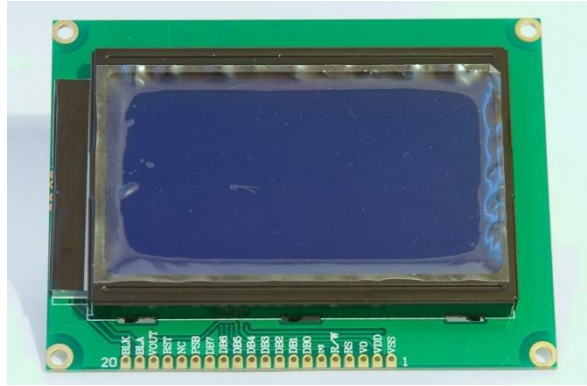
#### **e.4.1.4 Actuadores**

El sistema de nebulización, de ventilación y de calefacción son los elementos finales del sistema de control, cuya función es ejecutar acciones de control para poder regular la variable de control, es decir, mediante las señales de control que envíe el controlador difuso, la variable a controlar, que en este caso es la humedad relativa aumenta o disminuye en el interior del invernadero de acuerdo al caso, tratando de alcanzar de esta forma valores de humedad relativa amigables para las orquídeas. Cada uno de estos sistemas se enciende dependiendo del estado de la planta (invernadero), mediante los circuitos de activación expuestos anteriormente. El funcionamiento y diseño de estos sistemas actuadores se explican en los apartados anteriores.

#### **e.4.1.5 GLCD de 128 x 64 Píxeles**

También conocida como LCD (DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO) gráfica o LCD matricial, la cual cuenta con retroiluminación por led (Backlight), usa controladores del tipo KS0108B, cada controlador tiene una memoria de 512 bytes interna, y por lo tanto permite controlar un Display de 64 x 64 píxeles. La manera en que los Display más grandes lo manejan es un controlador por cada fracción de la pantalla, es decir, en este caso el Display de 128 x 64 tiene 2 controladores.

Cada controlador es independiente, es decir, no transmiten información entre ellos, y para elegir qué controlador maneja la pantalla, se usan dos líneas de control llamadas CS1 y CS2, el CS (chip select) básicamente actúa como una dirección de 2 bits que elige a cuál de los 2 controladores manejar, el Display está dividido en 8 secciones horizontales llamadas páginas, de 8 píxeles de alto cada uno y 64 líneas verticales. [28]



**Figura 48. GLCD de 128 x 64 Pixeles.**

Entre sus principales características se puede mencionar las siguientes:

- Los LCD monocromático, gráfico 128x64 pixeles
- Luz de fondo verde ajustable por software.
- Contraste ajustable por potenciómetro externo
- Alimentación 5-7 voltios
- Consumo 220mA con la luz de fondo al 100%
- Entrada de datos: 0-5v 115200bps (velocidad por defecto, ajustable por software)
- Dimensiones 7,6 x 5 x 1,5 cm.

#### **e.4.1.6 RTC DS1307**

RTC es el acrónimo de Real Time Clock (Reloj en Tiempo Real), el cual se ha constituido en una herramienta de gran utilidad para sistemas en los cuales se debe realizar ciertas acciones en determinadas horas del día o en sistemas en los cuales es necesario detectar eventos y la hora en que ocurrieron.

El DS1307 Real-Time-Clock, es un dispositivo de bajo consumo de energía, reloj/calendario más 56 bytes de NVRAM para almacenamiento de datos. Las direcciones y datos son transferidos a través de dos hilos serie, bus bidireccional. El reloj/calendario proporciona información de horas, minutos y segundos así como el día, mes y año. Además cuenta con un calendario que le permite ajustar automáticamente la fecha en meses con

menos de 31 días, incluyendo las correcciones para los años bisiestos. El reloj funciona tanto en el formato de 24 horas o de 12 horas con indicador AM/PM. En la figura 49 se muestra físicamente el temporizador RTC. [29]

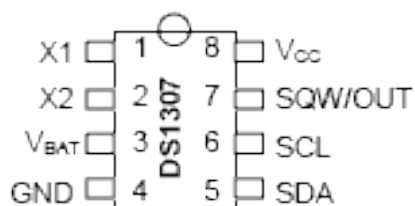


**Figura 49. DS1307. [30]**

Algunas características adicionales del DS1307 son:

- El DS1307 tiene incorporado un circuito de sensor de tensión que detecta fallas de energía y cambia automáticamente al suministro de batería de respaldo.
- Puede generar una señal de onda cuadrada de frecuencia programable.

La distribución de pines del circuito integrado se presenta en la figura 50 y la descripción de cada uno de ellos en la tabla 11.



**Figura 50. Configuración de pines. [30]**

Nombre del pin	Número de pin	Función
X1, X2	1, 2	Utilizados para la conexión de un cristal de cuarzo externo de 32.768 KHz.
VBAT	3	Entrada para una batería de respaldo en caso que el voltaje primario de alimentación sea suspendido, su valor es de +3V.
GND	4	Voltaje de referencia a tierra.
SDA (Serial Data Input/Output)	5	Señal de datos bidireccional para la comunicación I2C.
SCL (Serial Clock Input)	6	Entrada de señal de sincronización para el movimiento de los datos en la comunicación serial I2C.
SQW/OUT (Square Wave/Output Driver)	7	Esta salida permite obtener señales de onda cuadrada de 1Hz, 4KHz, 8KHz, 32KHz, dependiendo de la configuración interna que se realice.
VCC	8	Voltaje primario de alimentación, 5V.

**Tabla 11. Descripción de los pines DS1307.**

El DS1307 funciona como un dispositivo esclavo en el bus serie. El acceso se obtiene mediante la aplicación de una condición de inicio (start) y la prestación de un código de identificación del dispositivo, seguido de una dirección de registro. Se puede acceder a registros posteriores de forma secuencial hasta que se ejecuta una condición parar (stop). [29]

El mapa de direcciones para registros del RTC Y RAM del DS1307 se muestra en la figura 51. Los registros de RTC están situados en localizaciones de dirección 00h a 07h, a su vez, los registros RAM están situados en las direcciones de localización 08h a 3Fh

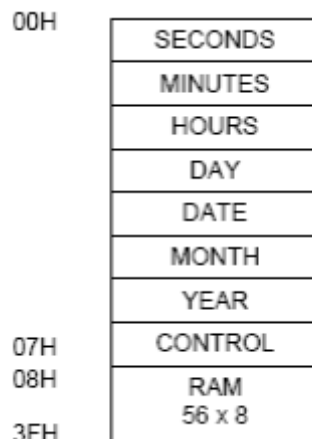


Figura 51. Mapa de direcciones. [29]

La información de tiempo de calendario se obtiene mediante la lectura de los bytes del registro correspondientes, según la figura 52. El tiempo y calendario son establecidos o inicializados al escribir los bytes de registro correspondiente; cabe destacar que el contenido de estos registros está en formato BCD.

El bit 7 del registro 0 es la interrupción bit de reloj alto (CH). Cuando este bit está establecido en 1, el oscilador esta desactivado; caso contrario, se habilita el oscilador. [29]

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01–07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

Figura 52. Registros RTC. [29]



#### e.4.2 Diseño del controlador difuso

El controlador representa la parte principal del módulo de control, a este se dirigen las entradas del sistema, a las que se aplica el algoritmo difuso con el fin de obtener una señal de control que garanticen en este caso un rango de humedad relativa del  $70 \pm 10\%$  en el interior del invernadero. La finalidad del controlador difuso es básicamente mantener controlada la humedad relativa e implícitamente la temperatura. Como se puede observar en la figura 53, el control diseñado presenta un lazo de control convencional, el algoritmo difuso en sí, esta implementado en el controlador del sistema.

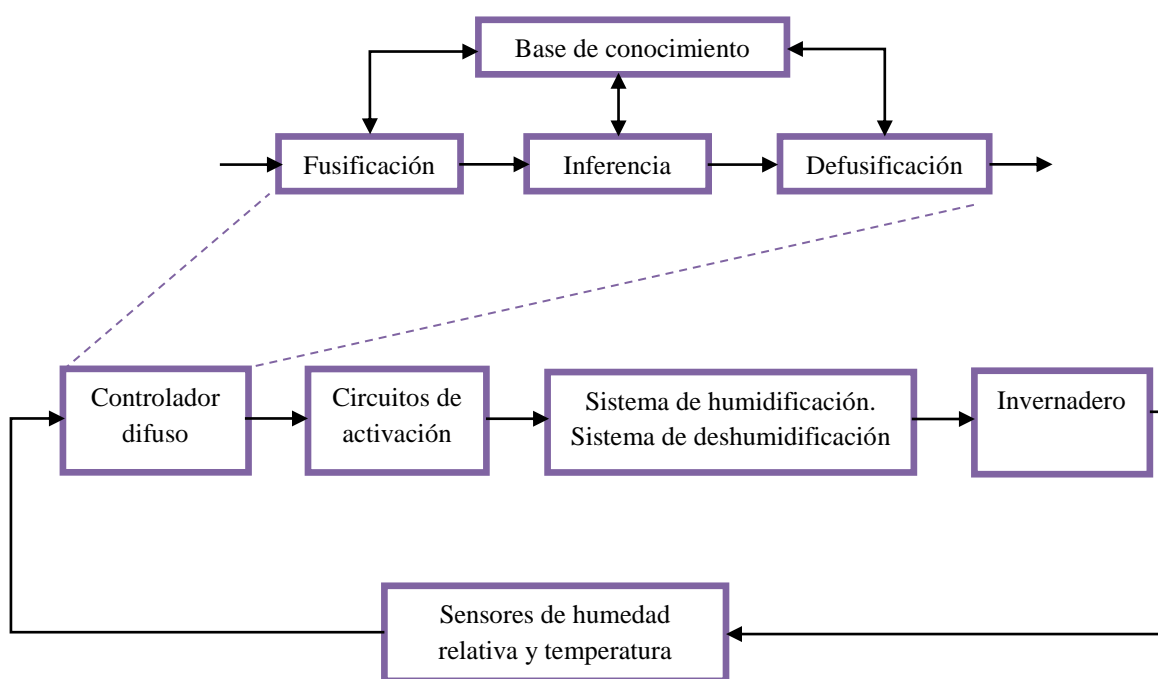


Figura 53. Lazo de control de humedad relativa.

El controlador está formado principalmente por sus respectivas entradas y salidas difusas y por las etapas de fusificación, inferencia, base de conocimiento y de defusificación. En los siguientes apartados se describe el procedimiento que se siguió para estructurar el controlador difuso, es decir, se determinaron los conjuntos difusos de entrada y de salida, las reglas difusas que definen el comportamiento del sistema (antecedentes y consecuentes) y el tipo de inferencia y defusificación utilizada.

#### e.4.2.1 Definición de variables

Las variables de entrada hacia el sistema difuso son: humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero, las cuales ingresan al controlador y actúan directamente sobre el algoritmo difuso, esto debido a que el rango de humedad relativa a mantener ya está preestablecido en el controlador difuso, y no es necesario un setpoint para ingresar la humedad relativa y temperatura requerida, ni tampoco es necesario usar una entrada con el error de cada una de las variables del sistema. En el caso de las variables de salida del sistema difuso, éstas están dadas por el funcionamiento de cada uno de los sistemas actuadores (nebulización, calefacción, ventilación), es decir, las salidas del sistema en este caso son: tiempo de nebulización, tiempo de calefacción, y velocidad de ventilación. La división de cada una de estas variables en conjuntos difusos se realiza en el siguiente apartado.

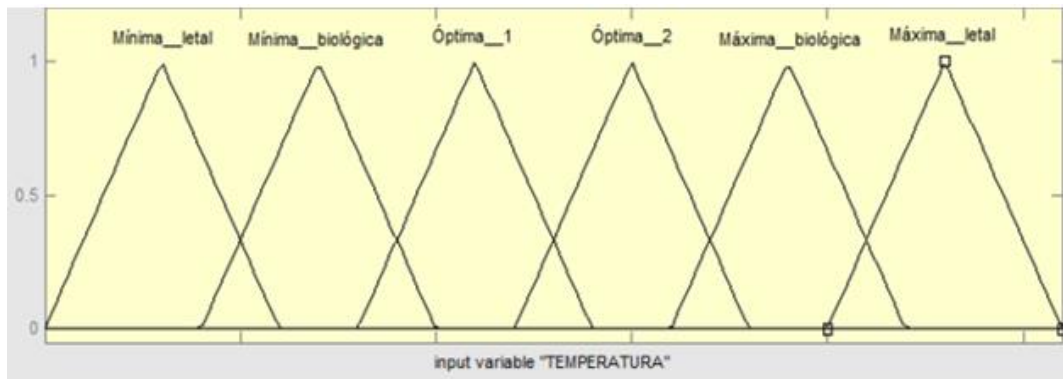


Figura 54. Entradas y salidas del controlador difuso.

#### e.4.2.2 Definición de los conjuntos difusos.

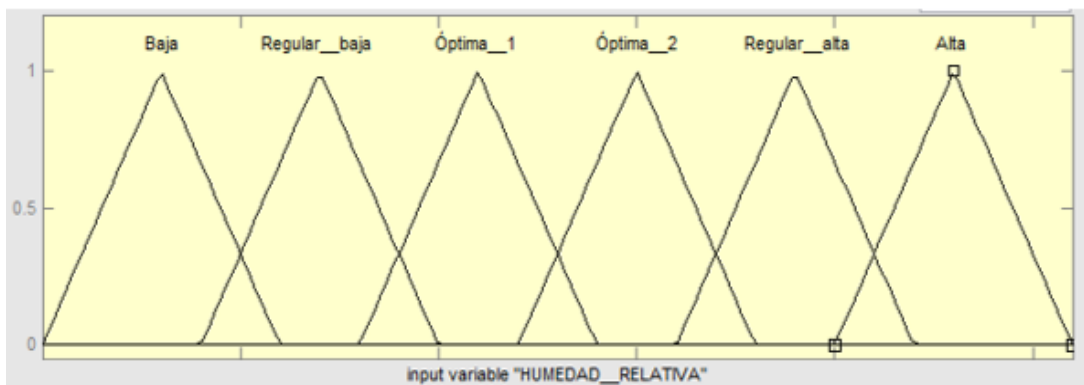
Los espacios de entrada se dividieron en seis conjuntos difusos de tipo triangular, los espacios de salida para tiempo de nebulización y calefacción se dividieron en tres conjuntos difusos de tipo triangular y uno de tipo singleton y para la velocidad de ventilación se dividió en cuatro conjuntos difusos de tipo singleton. El número de conjuntos obedece a las etiquetas lingüísticas, estas etiquetas fueron asignadas de acuerdo al tipo de variable, es decir, se asigna un nombre a cada uno de los conjuntos difusos con el objetivo de poder interpretar en qué nivel o posición se encuentra cada valor. El tipo de función de pertenencia utilizada, o forma de los conjuntos difusos, se lo escogió basándose en [31], donde manifiesta que las funciones triangulares son las más usadas en sistemas embebidos,

esto debido a que las formas triangulares al ser idénticas y simétricas son mucho más sencillas de programar en un microcontrolador. Es importante señalar que en el proceso se variaron estos rangos y divisiones, así como que el programa implementado en hardware está diseñado para realizar estos cambios sin alterar su funcionamiento. La partición de los espacios de entrada en conjuntos difusos se llevó a cabo de la siguiente manera. Para el caso de la variable temperatura, las etiquetas lingüísticas son: “Mínima letal”, “Mínima biológica”, “Óptima 1”, “Óptima 2”, “Máxima biológica”, y “Máxima letal”, como se observa en la figura 55.



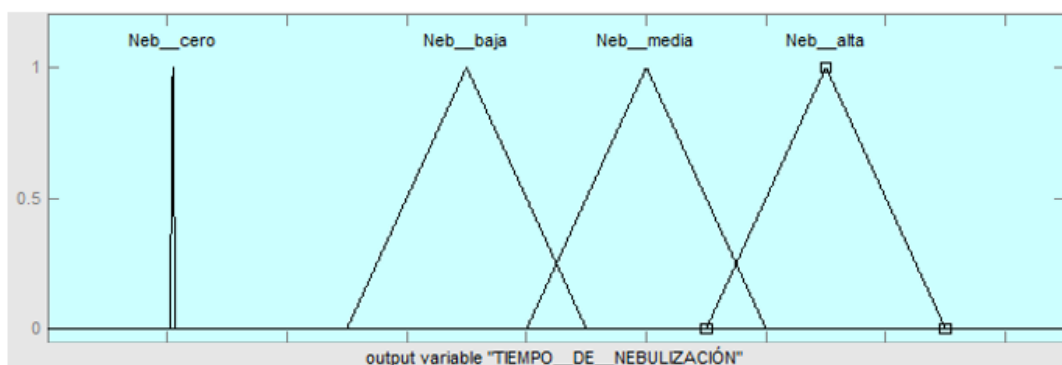
**Figura 55. Conjuntos difusos "Temperatura".**

En el caso de la humedad relativa, las etiquetas lingüísticas son: “Baja”, “Regular Baja”, “Óptima 1”, “Óptima 2”, “Regular alta”, y “Alta”.



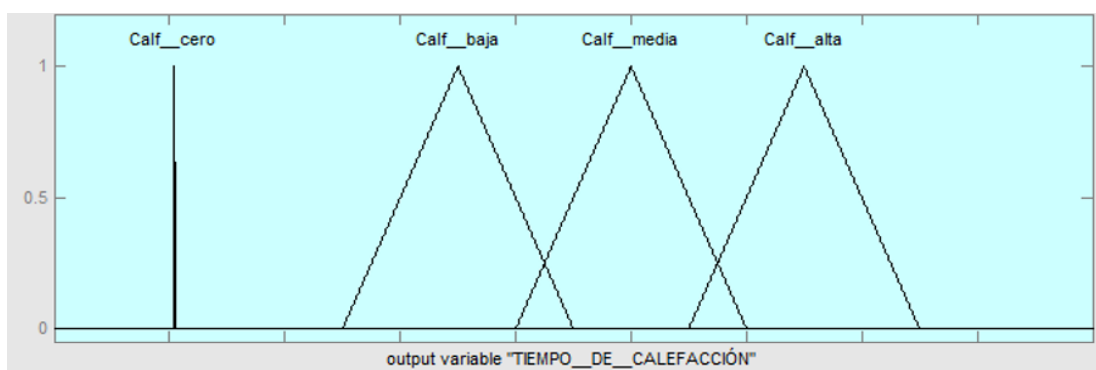
**Figura 56. Conjuntos difusos "Humedad relativa".**

La partición de los espacios de salida quedó como se describe a continuación. Para la variable Tiempo de nebulización son: “Neb cero”, “Neb baja”, “Neb media”, y “Neb alta”.



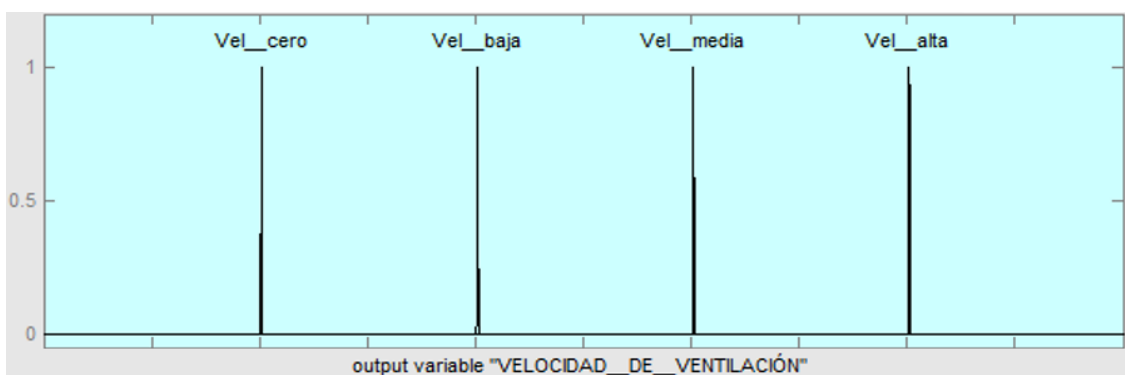
**Figura 57. Conjuntos difusos "Tiempo de nebulización".**

Para la variable Tiempo de calefacción son: “Calf cero”, “Calf baja”, “Calf media”, y “Calf alta”.



**Figura 58. Conjuntos difusos "Tiempo de calefacción".**

Por ultimo para la variable Velocidad de ventilación son: “Vel cero”, “Vel baja”, “Vel media” y “Vel alta”.



**Figura 59. Conjuntos difusos "Velocidad de ventilación".**

### e.4.2.3 Fusificación de las variables de entrada

Las entradas al controlador difuso en este caso son valores discretos. Con cada una de las variables de entrada, el valor recibido al controlador es comparado con su respectivo espacio, obteniendo de esta forma la información de a qué conjunto difuso pertenece. Posteriormente se calcula el grado de pertenencia del valor de entrada en cada uno de los conjuntos difusos a los cuales pertenece. En la figura 60 se muestra este concepto de manera gráfica, en donde la línea roja representa la variable de entrada, y la parte sombreada de amarillo representa el grado de pertenencia a cada conjunto.

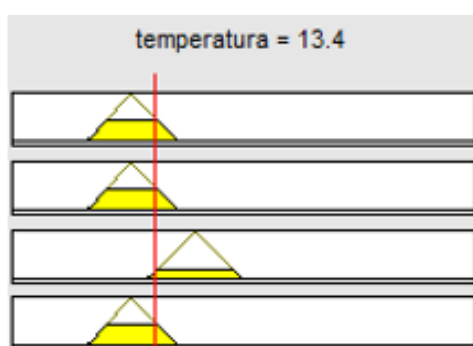


Figura 60. Grado de pertenencia.

En la figura 61 se puede observar el funcionamiento del fusificador.

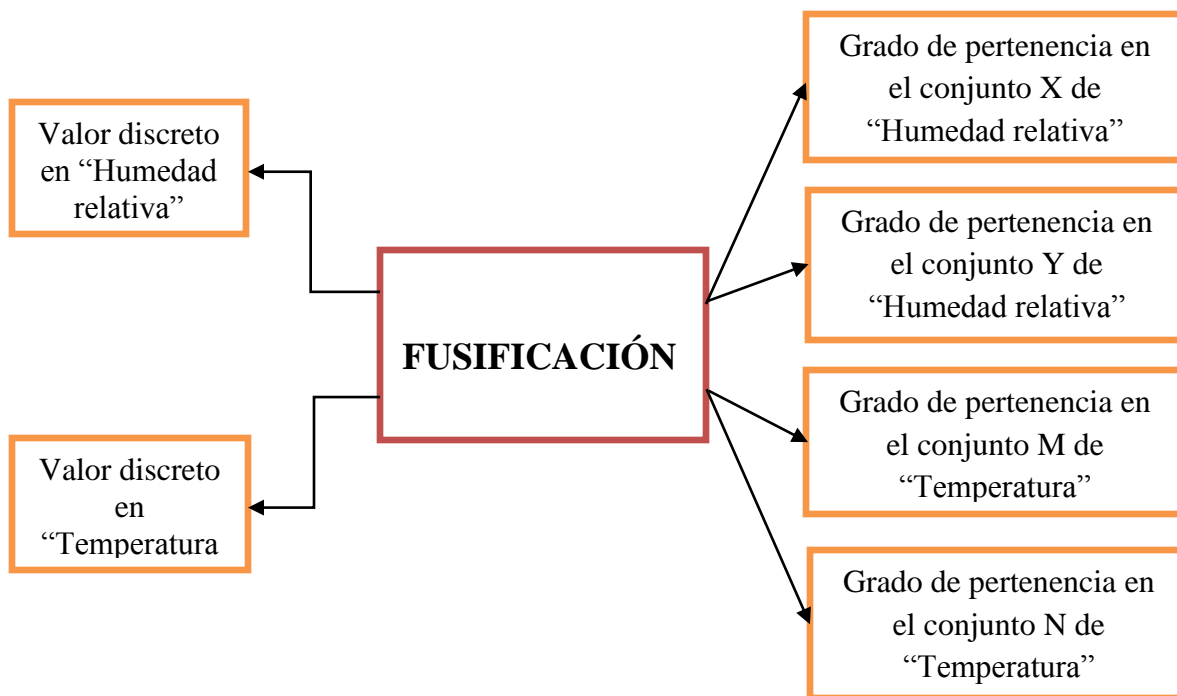


Figura 61. Funcionamiento del fusificador.

Recibido un valor de entrada para “Humedad relativa” y uno para “Temperatura”, devuelve el grado de pertenencia de cada uno a su respectivo espacio, en los conjuntos que abarquen al valor. Debido a la partición simétrica de los espacios, la variable sólo pueda pertenecer a uno o dos conjuntos, resultando en una o dos funciones de pertenencia por espacio únicamente.

#### e.4.2.4 Base de conocimiento

Esta sección se refiere a la parte central del controlador difuso, es decir, se describe la base de conocimientos, punto de partida para la generación del conjunto de reglas sobre las que se rige la inferencia. Se describen también los términos usados y se muestra la base en forma de matriz de asociación difusa.

Para el desarrollo de la base de conocimientos, fue necesario hacer una investigación de campo. Ésta permitió confirmar los conocimientos empíricos para lograr tener un respaldo adecuado y que el controlador se basará en la mejor información posible. Se desarrolló una sola base de conocimiento lo cual implica usar un solo controlador. A continuación se describen los términos usados:

##### En las entradas:

Humedad relativa

**B** = Baja

**RegB** = Regular baja

**OH1** = Óptima 1

**OH2** = Óptima 2

**RegA** = Regular alta

**A** = Alta

Temperatura

**MinL** = Mínima letal

**MinB** = Mínima biológica

**OT1** = Óptima 1

**OT2** = Óptima 2

**MaxB** = Máxima biológica

**MaxL** = Máxima letal

##### En las salidas:

Tiempo de nebulización

**NC** = Nebulización cero

Tiempo de calefacción

**CC** = Calefacción cero

**NB** = Nebulización baja  
**NM** = Nebulización media  
**NA** = Nebulización alta

**CB** = Calefacción baja  
**CM** = Calefacción media  
**CA** = Calefacción alta

Velocidad de ventilación

**VC** = Velocidad cero

**VB** = Velocidad baja

**VM** = Velocidad media

**VA** = Velocidad alta

En la matriz de asociación difusa que se muestra en la tabla 12, se encuentran definidas las reglas de diseño para el módulo de control difuso que van a gobernar el comportamiento del control difuso, la cual muestra las posibles combinaciones entre las entradas y las salidas propuestas para cada caso.

		HUMEDAD RELATIVA					
		B	RegB	OH1	OH2	RegA	A
TEMPERATURA	MinL		CM	CA	CA	CA	CA
	MinB		CB	CB	CM	CM	CA
	OT1		NB+VA	VB	VB	CB	
	OT2		NB+VA	VM	VM	CB	
	MaxB	NM+VA	NM+VA	NB+VA	NB+VA	NB+VA	
	MaxL	NA+VA	NA+VA	NA+VA	NM+VA	NM+VA	

Tabla 12. Matriz de Asociación Difusa.

Este arreglo entre las variables de control se puede representar como reglas de tipo si/entonces, las cuáles servirán en el método de evaluación de reglas difusas o inferencia, en la tabla 13 se puede observar las reglas de diseño para el módulo de control difuso, presentadas en la forma si/entonces.

Si Humedad relativa es <b>BAJA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>MEDIA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>BAJA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>ALTA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>MEDIA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>BAJA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 1</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>BAJA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 2</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>BAJA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>MEDIA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR BAJA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>ALTA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de



calefacción es <b>ALTA</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>BAJA</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 1</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>BAJA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 2</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>MEDIA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>BAJA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 1</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>ALTA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>ALTA</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>MEDIA</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 1</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>BAJA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 2</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>MEDIA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>BAJA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .

Si Humedad relativa es <b>ÓPTIMA 2</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA LETAL</b> entonces salida Tiempo de nebulización es <b>MEDIA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>ALTA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>MEDIA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 1</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>BAJA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>ÓPTIMA 2</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>BAJA</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>BAJA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>REGULAR ALTA</b> y Temperatura es <b>MÁXIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>MEDIA</b> y Velocidad de ventilación es <b>ALTA</b> y Tiempo de calefacción es <b>CERO</b> .
Si Humedad relativa es <b>ALTA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA LETAL</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>ALTA</b> .
Si Humedad relativa es <b>ALTA</b> y Temperatura es <b>MÍNIMA BIOLÓGICA</b> entonces Tiempo de nebulización es <b>CERO</b> y Velocidad de ventilación es <b>CERO</b> y Tiempo de calefacción es <b>ALTA</b> .

Tabla 13. Reglas de control difuso.

#### e.4.2.5 Método de inferencia

El método de inferencia utilizado es el de mínimo-máximo o también conocido como el método de Mandami; ya que por sus características, es el más apropiado para realizar un controlador compilado. Este método se basa en lo siguiente:

- **Valores de entrada:** el resultado de la fusificación arroja ciertos valores de pertenencia para distintos conjuntos en cada espacio de entrada.

Ejemplo:

$\mu_{RA}(x) = 0,6$ ; Valor de pertenencia de la variable  $x$  de la entrada Humedad relativa, conjunto difuso REGULAR ALTA.

$\mu_A(x) = 0,3$ ; Valor de pertenencia de la variable  $x$  de la entrada Humedad relativa, conjunto difuso ALTA.

Cero para los demás conjuntos difusos del espacio de entrada Humedad relativa

$\mu_{MinL}(y) = 0,5$ ; Valor de pertenencia de la variable  $y$  de la entrada Temperatura, conjunto difuso MÍNIMA LETAL.

$\mu_{MinB}(y) = 0,2$ ; Valor de pertenencia de la variable  $y$  de la entrada Temperatura, conjunto difuso MÍNIMA BIOLÓGICA.

Cero para los demás conjuntos difusos del espacio de entrada Temperatura.

- **Aplicación de reglas:** Las pertenencias que existen se aplican sobre la base de reglas para saber en qué conjunto difuso del espacio de salida se produce el consecuente de cierta combinación de antecedentes descritos en dichas reglas. En este ejemplo se asocian cuatro reglas de acuerdo a las combinaciones de los antecedentes. Las reglas son las siguientes:

Si Humedad relativa es **REGULAR ALTA** y Temperatura es **MÍNIMA LETAL** entonces Tiempo de calefacción es **ALTA**.

Si Humedad relativa es **REGULAR ALTA** y Temperatura es **MÍNIMA BIOLÓGICA** entonces Tiempo de calefacción es **MEDIA**.

Si Humedad relativa es **ALTA** y Temperatura es **MÍNIMA LETAL** entonces Tiempo de calefacción es **ALTA**.

Si Humedad relativa es **ALTA** y Temperatura es **MÍNIMA BIOLÓGICA** entonces Tiempo de calefacción es **ALTA**.

- **Pertenencias de salida:** El valor de pertenencia que se hereda al conjunto difuso de salida en cada regla cumplida, es el valor mínimo de las membresías de los conjuntos difusos de los espacios de entrada que se involucran en cada regla. En este ejemplo son los siguientes:

$\mu_{CA}(z) = 0,5$ ; Valor de pertenencia de la variable  $z$  de la salida Tiempo de calefacción, conjunto difuso ALTA.

$\mu_{CM}(z) = 0,2$ ; Valor de pertenencia de la variable  $z$  de la salida Tiempo de calefacción, conjunto difuso MEDIA.

$\mu_{CA}(z) = 0,3$ ; Valor de pertenencia de la variable  $z$  de la salida Tiempo de calefacción, conjunto difuso ALTA.

$\mu_{CA}(z) = 0,2$ ; Valor de pertenencia de la variable  $z$  de la salida Tiempo de calefacción, conjunto difuso ALTA.

- **Formación del polígono:** Después de aplicar todas las reglas que se cumplen, se puede tener varios valores de pertenencia para un mismo conjunto difuso del espacio de salida, si varias reglas heredaron en él. Adicionalmente es necesario formar el polígono de salida, que refleja el valor de las pertenencias a lo largo de los conjuntos difusos del espacio de salida. Para obtener el producto final del método de inferencia, se debe entonces hacer un barrido por cada conjunto difuso, tomando

siempre el máximo valor de pertenencia. Entre conjuntos difusos, se debe tomar también el máximo valor de pertenencia de cada uno. La figura 62 muestra un ejemplo de lo descrito en este último punto.

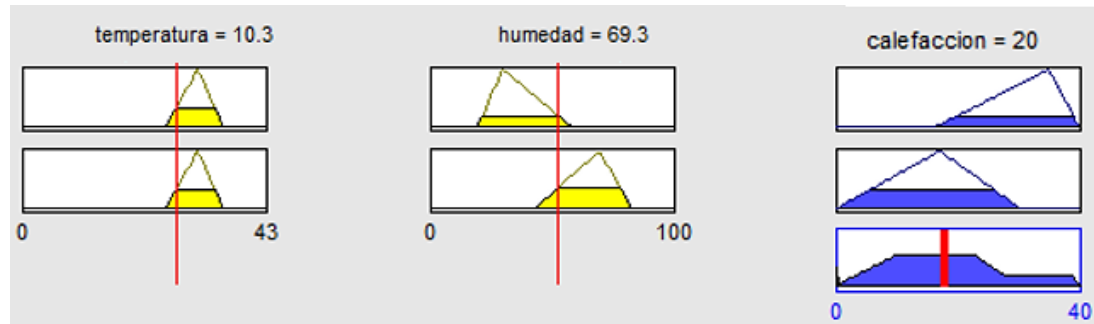


Figura 62. Formación del polígono de salida.

En la figura anterior, se puede observar la formación del polígono de salida, así como también nos da una idea de los puntos anteriormente explicados. Es decir, de cada renglón se toma la menor pertenencia de los espacios de entrada para heredar al espacio de salida (mínimo). La última columna muestra la integración del polígono de salida, con los máximos de los mínimos. De esta manera queda conformado el método de inferencia del mínimo-máximo de Mandami.

#### e.4.2.6 Método defusificación.

Como última parte de los procesos del controlador difuso, se lleva a cabo la defusificación. En este proyecto, el método utilizado es el de centro de áreas o centroide, su elección se basa en la misma razón que el método de inferencia elegido; es decir, practicidad para ser implementado en un microcontrolador. Es importante mencionar, que no por esta razón, se compromete de ninguna manera su eficiencia, ya que estos métodos son también muy confiables.

El método de defusificación por centro de áreas es simple, dado el polígono de salida por la el método de inferencia, simplemente se calcula el centro de gravedad de la figura, mediante la siguiente fórmula:

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z) z dz}{\int \mu_c(z) dz} \quad (16)$$

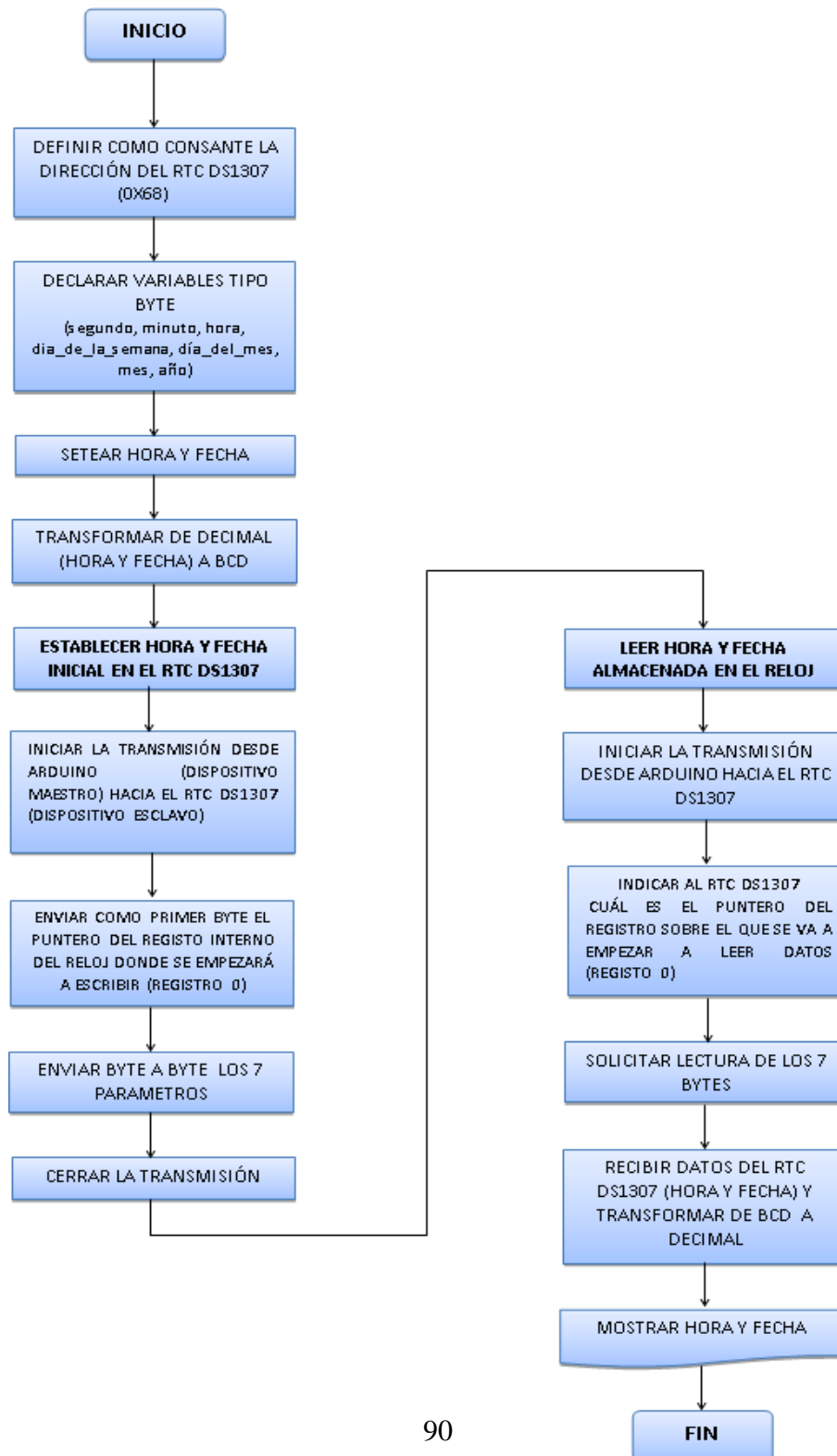
Donde  $z^*$  es el centroide. En el caso de sistemas discretos se calcula el centro del polígono de salida con la siguiente formula:

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(z) z}{\sum \mu_c(z)} \quad (16)$$

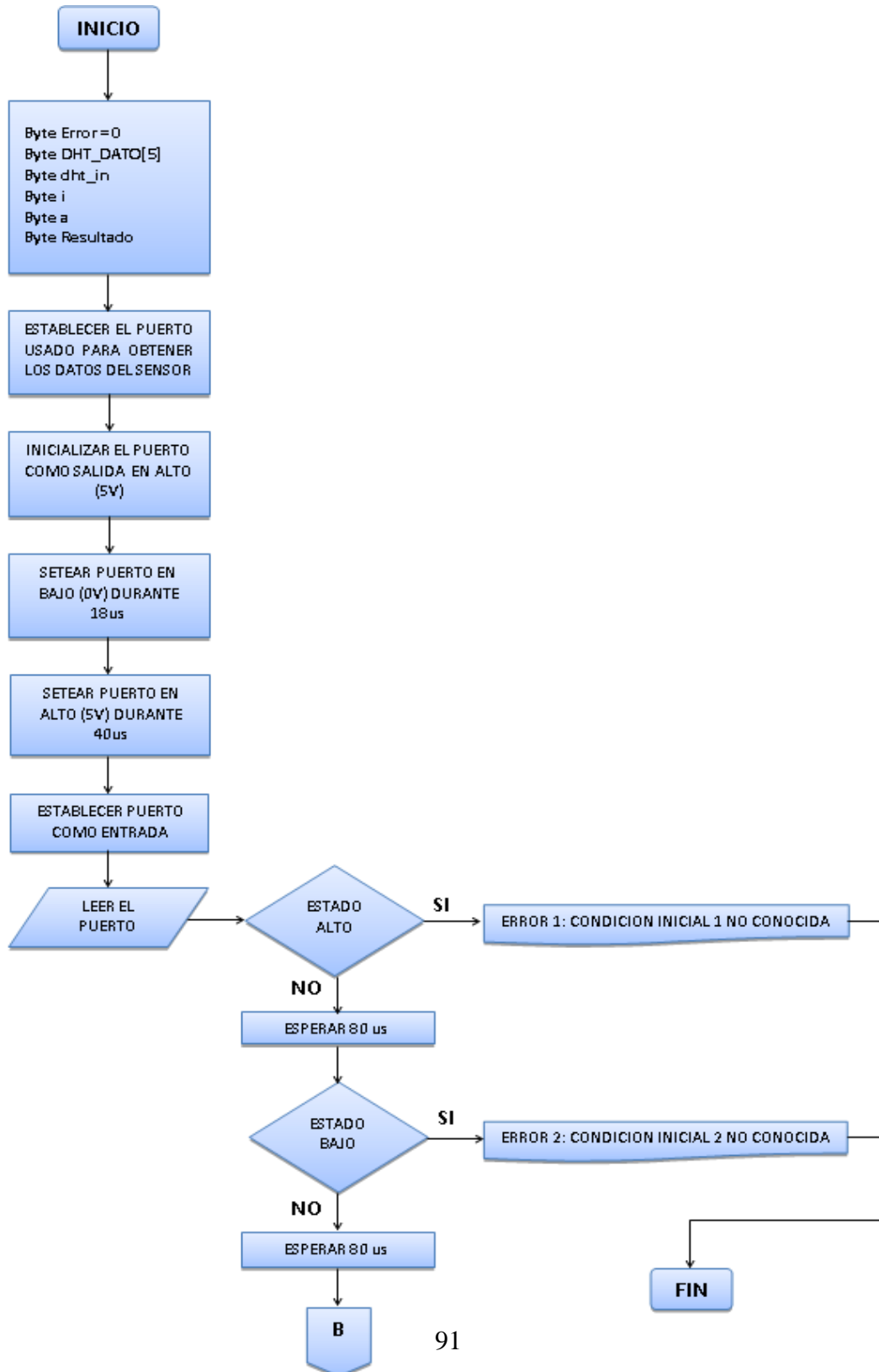
Esta fórmula es la que se implementa en la programación del control difuso del proyecto. Siguiendo la serie de procedimientos listados, se obtiene la estructura del controlador difuso.

## e.5 DIAGRAMAS DE FLUJO

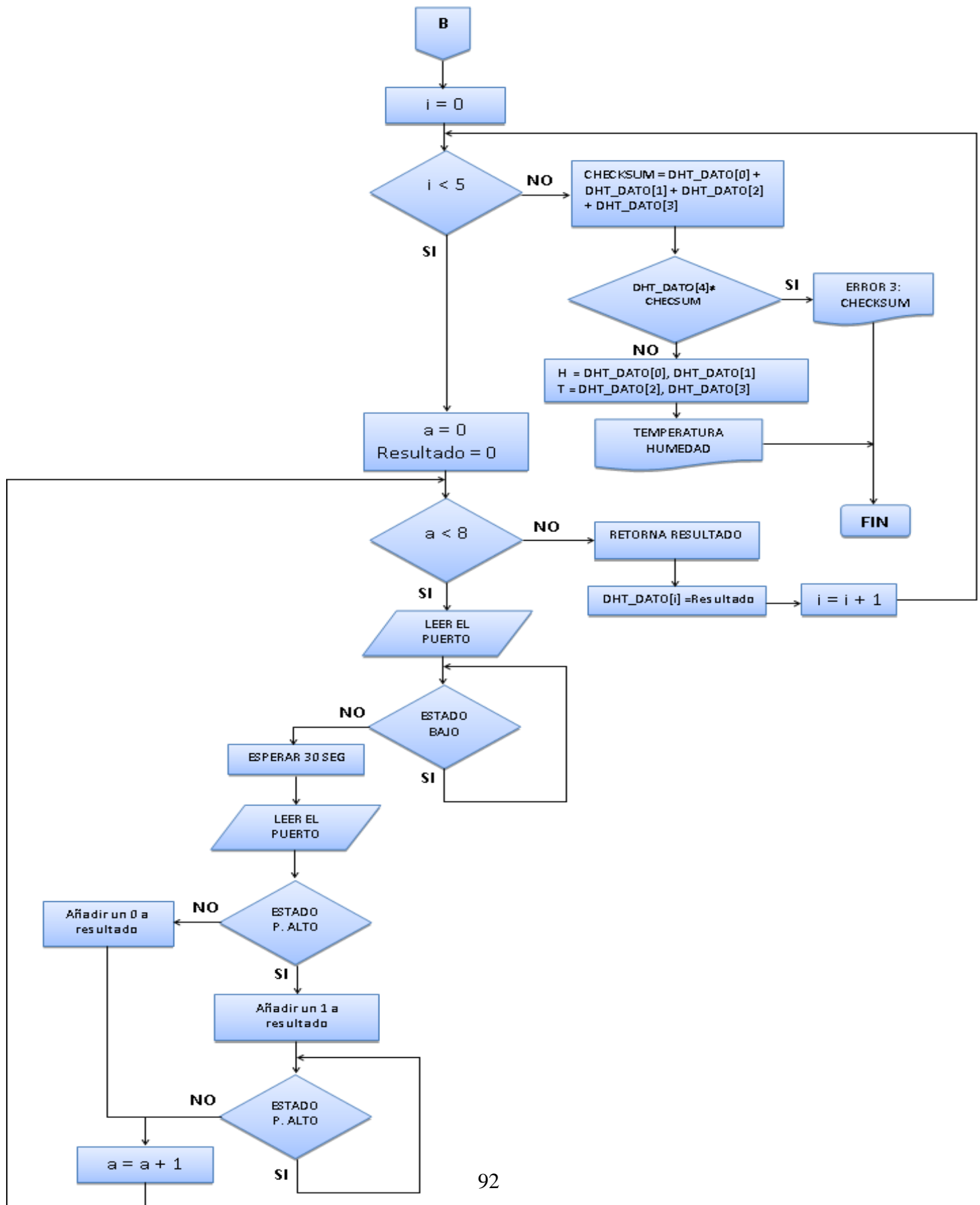
### e.5.1 Diagrama de flujo RTC DS1307



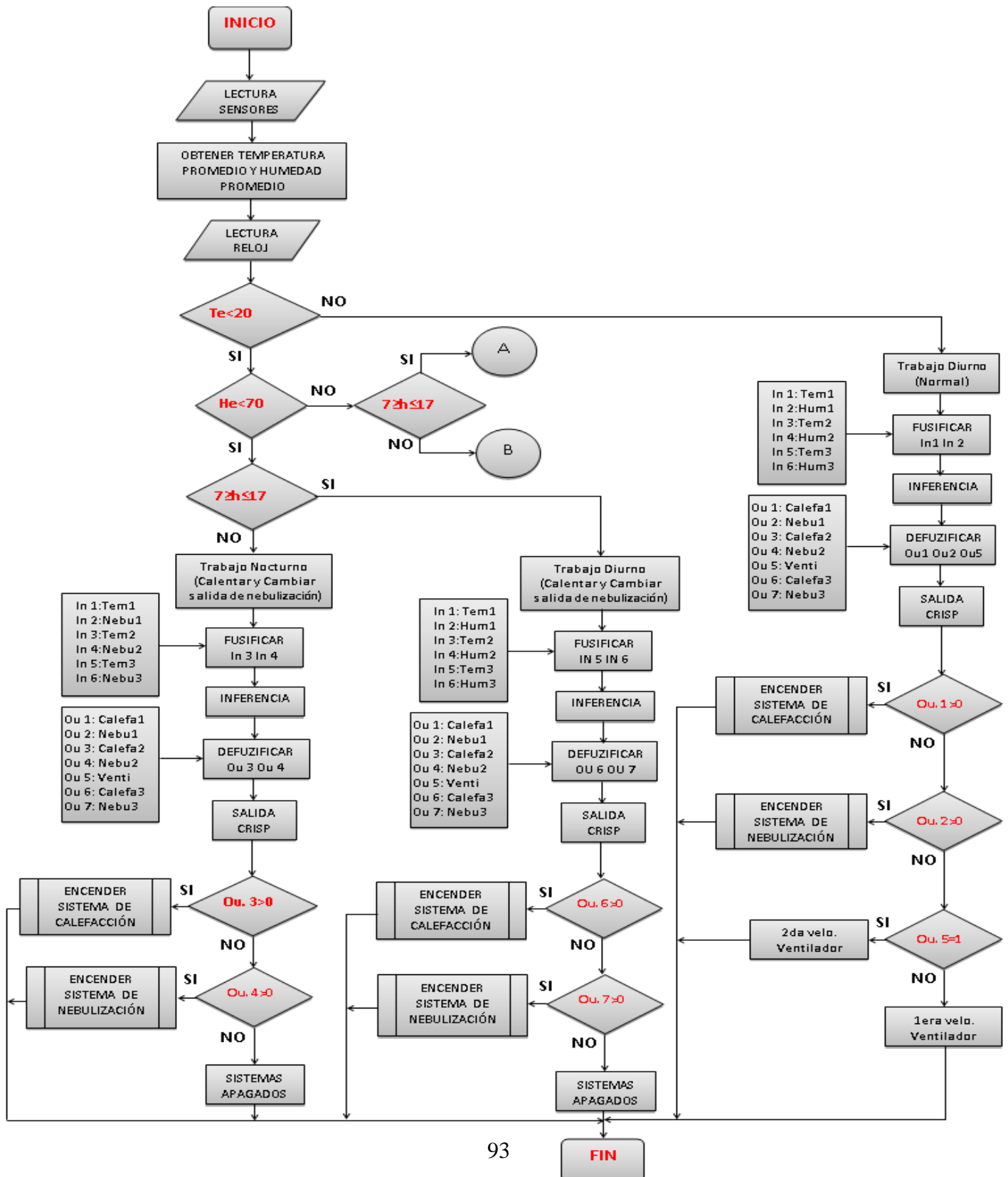
### e.5.2 Diagrama de flujo sensor RHT03

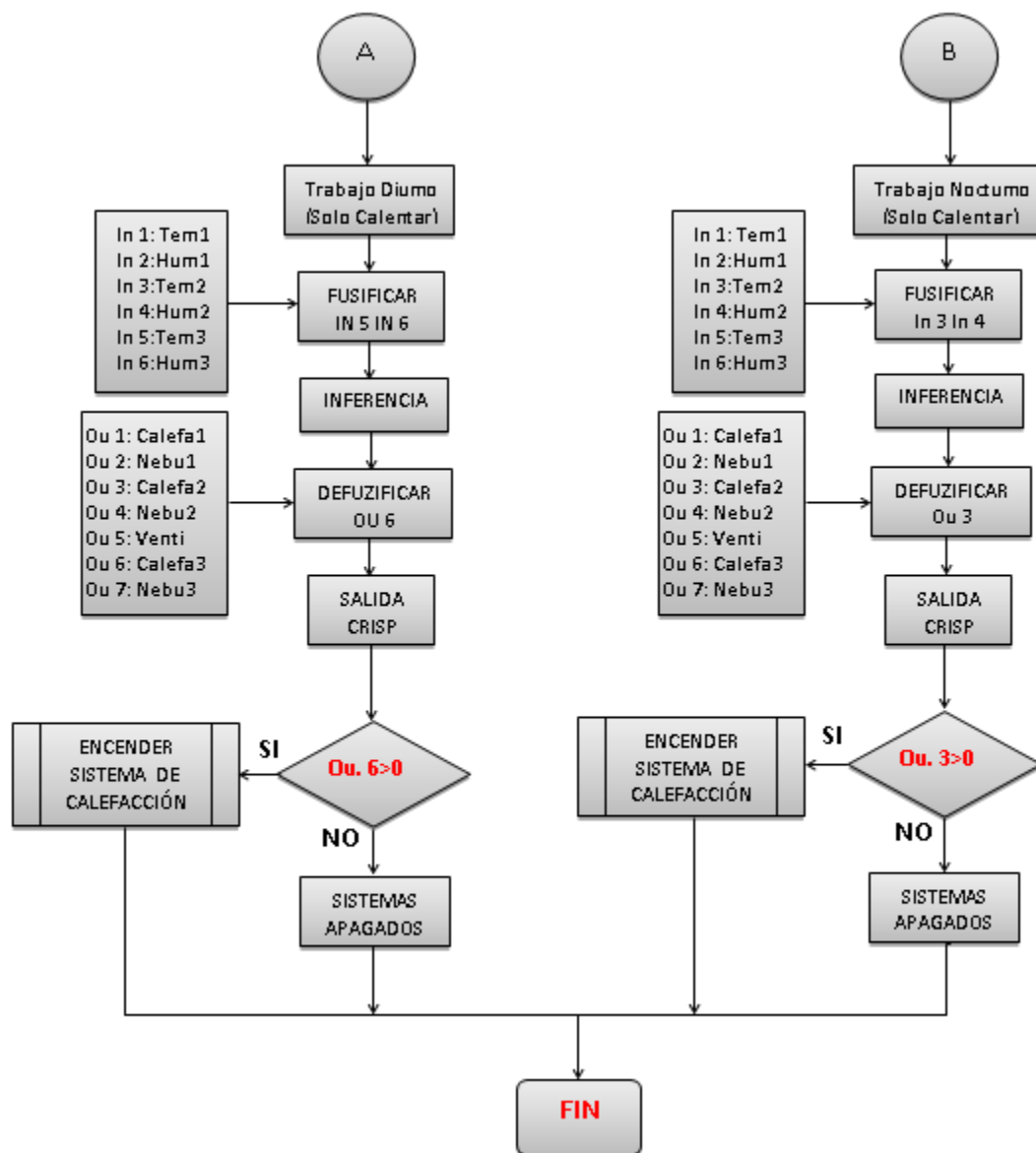




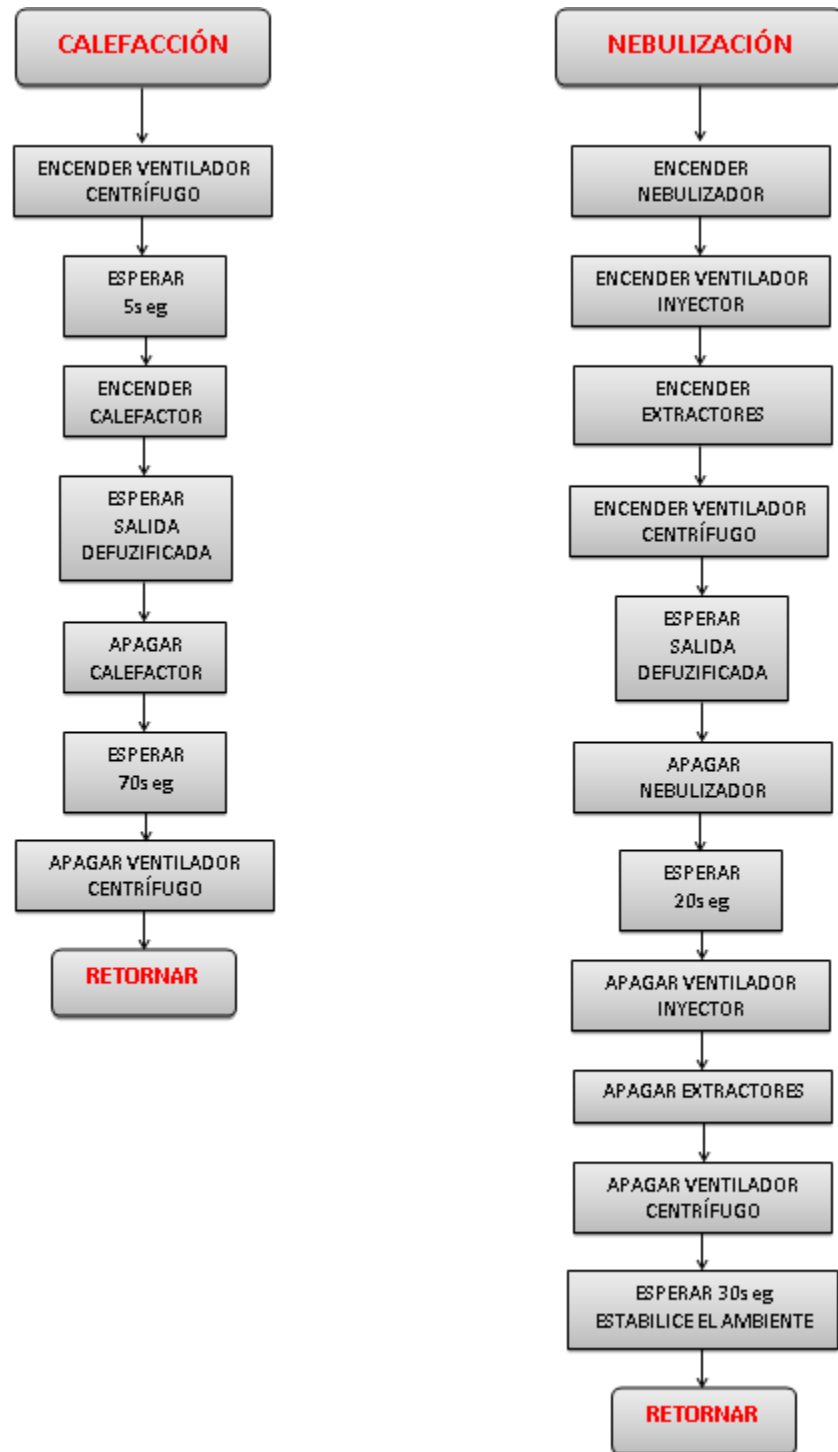


### e.5.3 Diagrama de flujo general del sistema



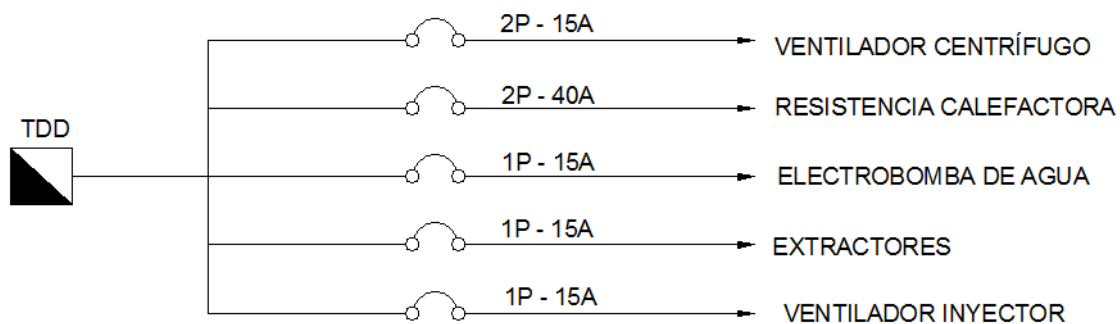


### e.5.3.1 Subrutina de los sistemas de calefacción y nebulización



## e.6 DIAGRAMA ELÉCTRICO

DIAGRAMA UNIFILAR.



### SIMBOLOGIA

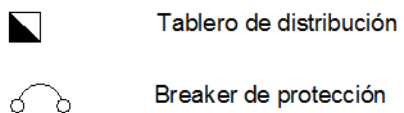
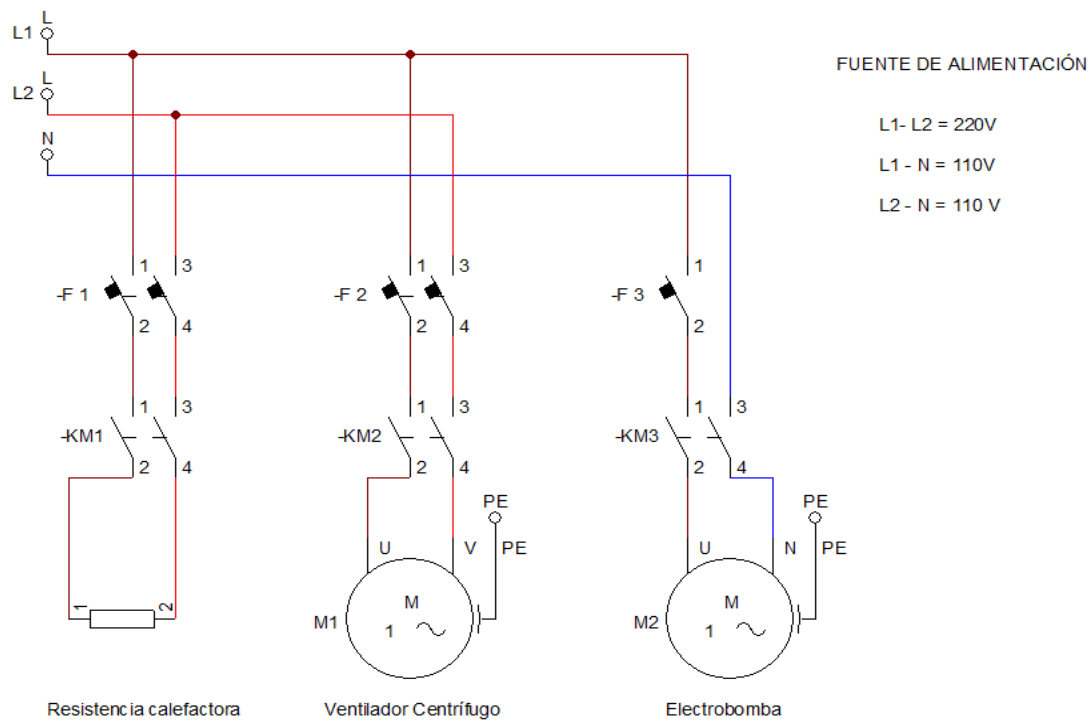
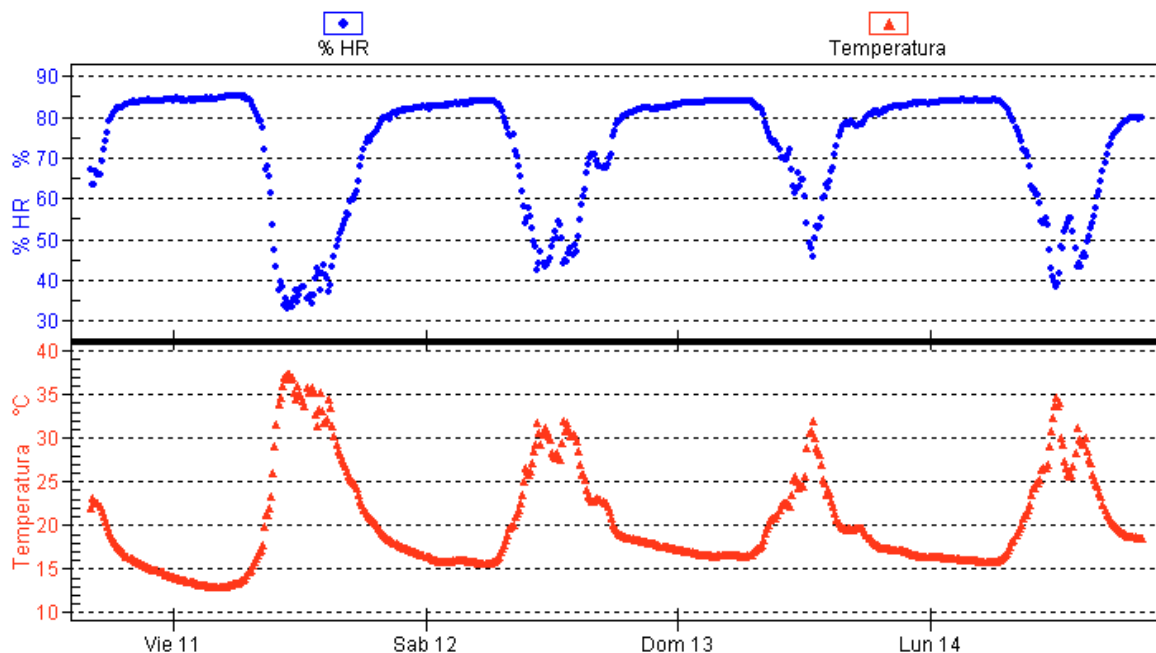


DIAGRAMA DE LOS CONTACTORES



## f. RESULTADOS

En la figura 63 se muestra cómo se comporta la humedad relativa y la temperatura en el interior del invernadero en ausencia de un sistema de control automático en los meses donde se presentan las temperaturas medias más altas (Noviembre y Diciembre). Las mediciones fueron tomadas en todos los casos con el instrumento de medición Fluke 975.

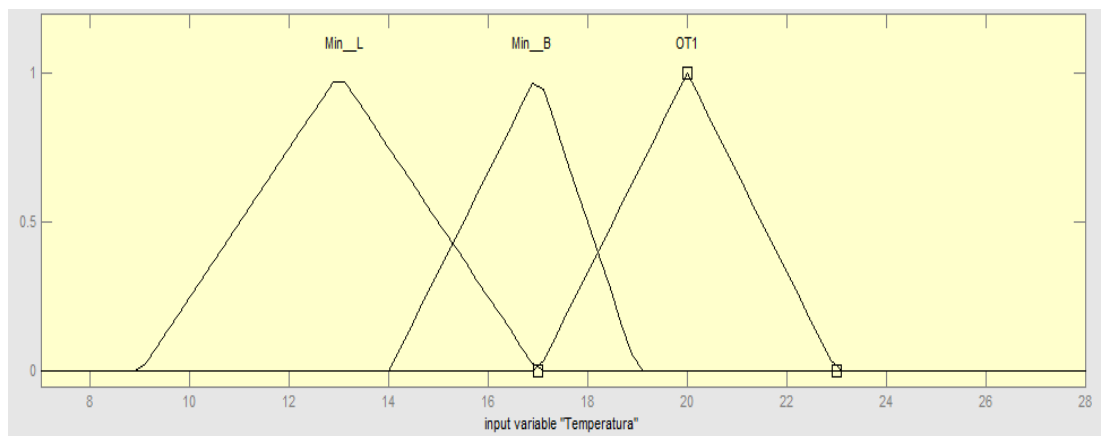


**Figura 63. Humedad Relativa y Temperatura en tiempo caluroso.**

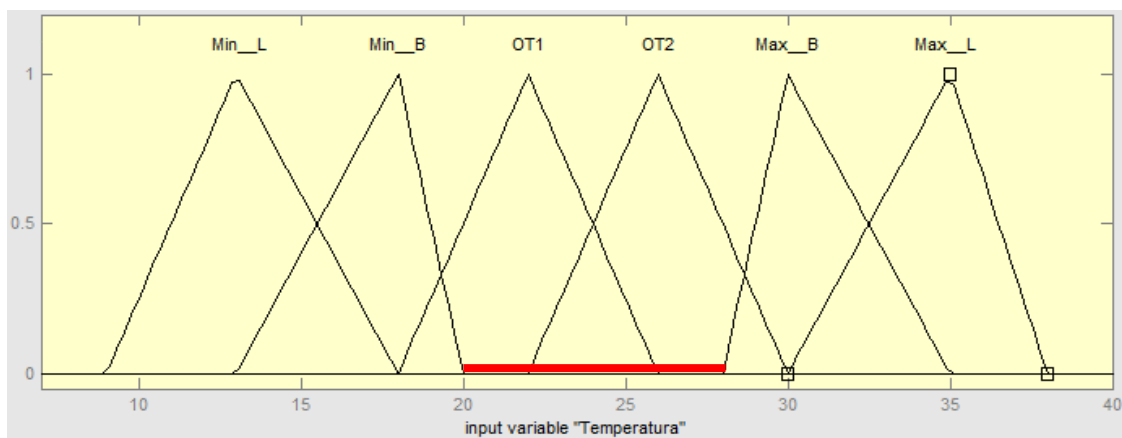
En las siguientes figuras se puede observar los resultados que se obtuvieron de acuerdo a los diferentes ensayos que se hicieron, usando para este caso un sistema de control automático que permita regular tanto la humedad relativa como la temperatura. Cabe mencionar que no se usó un sensor externo hasta el Ensayo 5, es decir, no se verificó la humedad relativa y la temperatura en el exterior del invernadero. También es importante indicar que la entrada de temperatura para la noche es la misma para todos los ensayos.

En el primer ensayo se reduce el rango de humedad relativa del 60-80% al 63-77% y se mantiene el rango inicial de temperatura para el día, que es de 20-28°C, ambos rangos están marcados por la línea roja. Las entradas y salidas del controlador difuso son las siguientes:

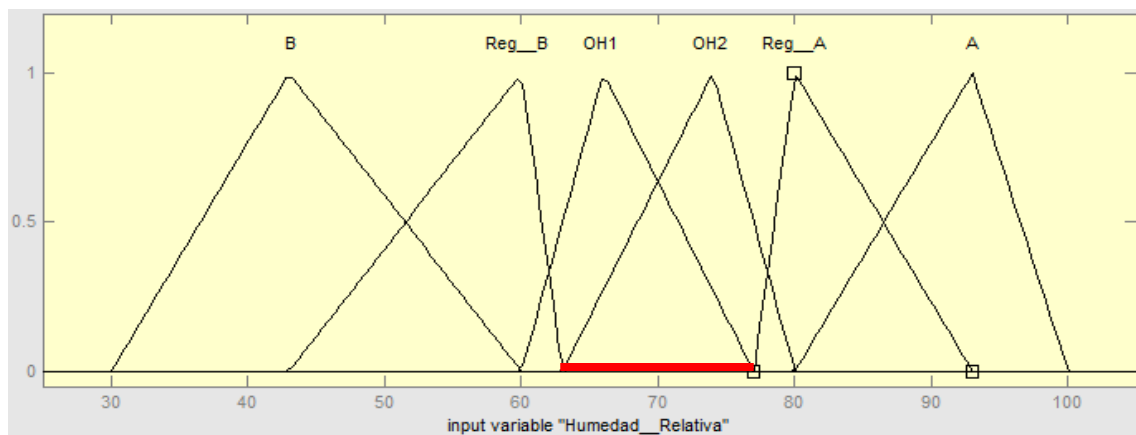
Para las entradas, humedad relativa y temperatura tenemos los siguientes conjuntos difusos:



**Figura 64. Entrada Temperatura Noche.**



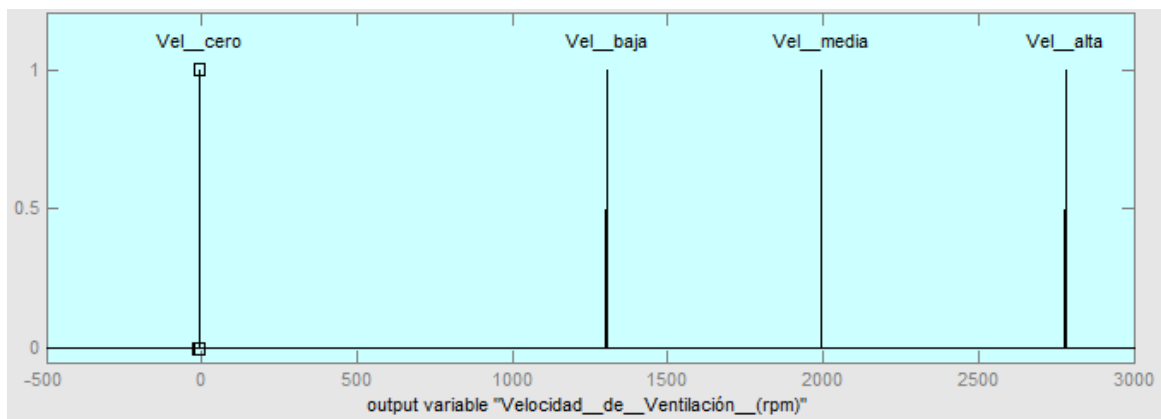
**Figura 65. Entrada Temperatura Día "Ensayo 1".**



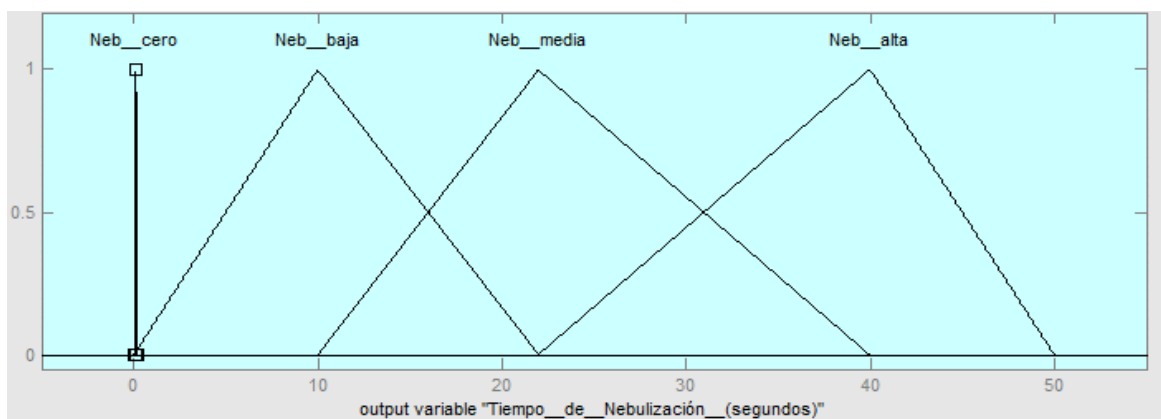
**Figura 66. Entrada Humedad Relativa "Ensayo 1".**

Para las salidas, tiempo de calefacción, tiempo de nebulización y velocidad de ventilación tenemos los siguientes conjuntos difusos:

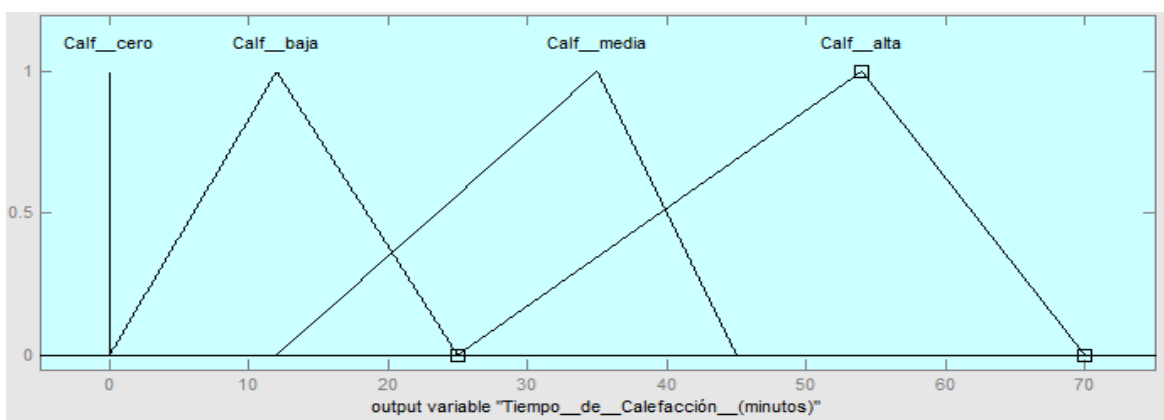




**Figura 67. Salida Velocidad de Ventilación.**



**Figura 68. Salida Tiempo de Nebulización.**



**Figura 69. Salida Tiempo de Calefacción.**

El resultado del Ensayo 1 es el siguiente:

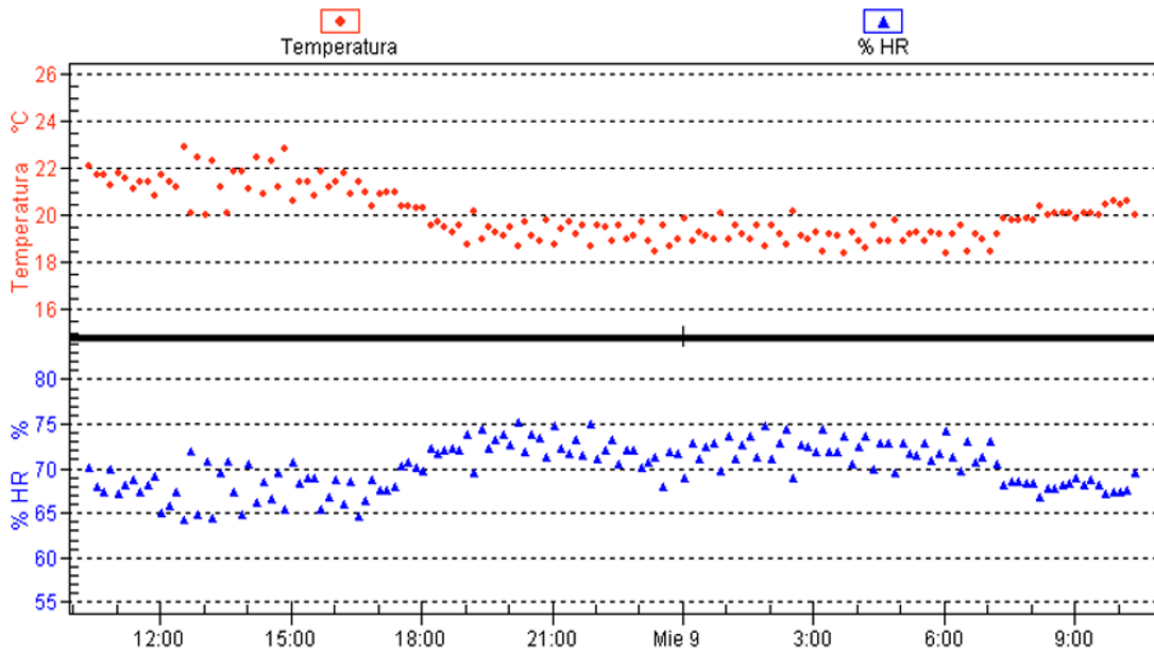


Figura 70. Resultado "Ensayo 1".

Para el segundo ensayo se conserva la entrada “Humedad Relativa”, todas las salidas del controlador difuso del “Ensayo 1” y se reduce el rango de temperatura para el día de 20-28°C a 21-27°C. La entrada difusa de temperatura para el día queda de la siguiente forma:

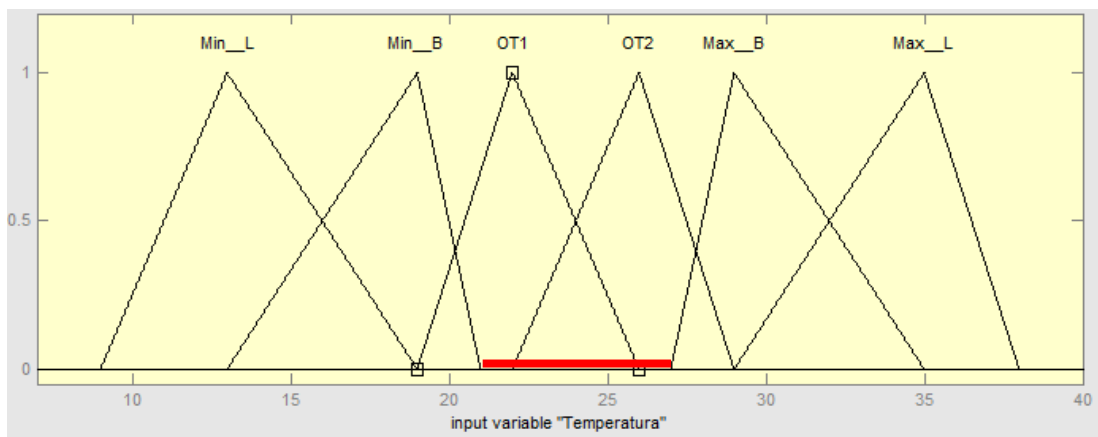


Figura 71. Entrada Temperatura Día "Ensayo 2".

El resultado del Ensayo 2 es el siguiente:

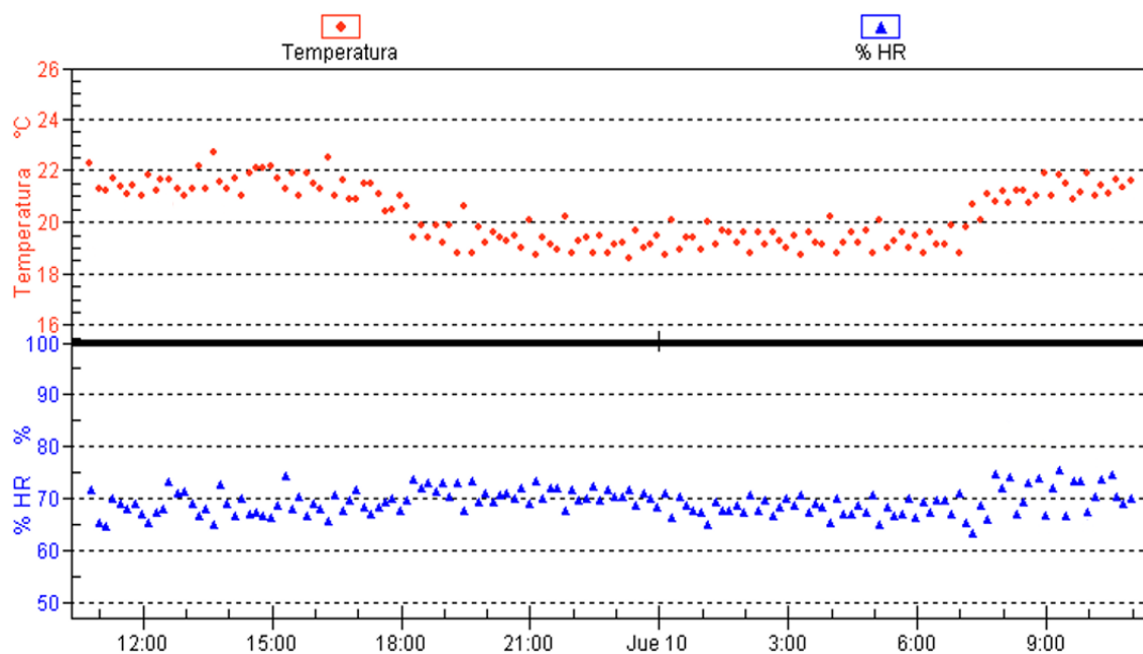


Figura 72. Resultado "Ensayo 2".

En el tercer ensayo se conserva nuevamente la entrada “Humedad Relativa”, todas las salidas del controlador difuso del “Ensayo 1” y se reduce aún más el rango de temperatura para el día de 20-28°C a 22-26°C.

La entrada difusa de temperatura para el día queda de la siguiente forma:

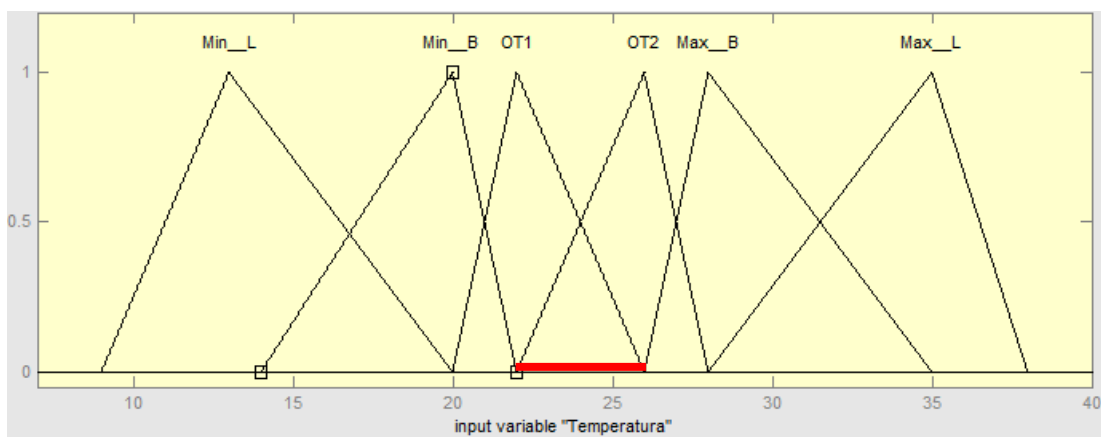


Figura 73. Entrada Temperatura Día "Ensayo 3".

El resultado del Ensayo 3 es el siguiente:

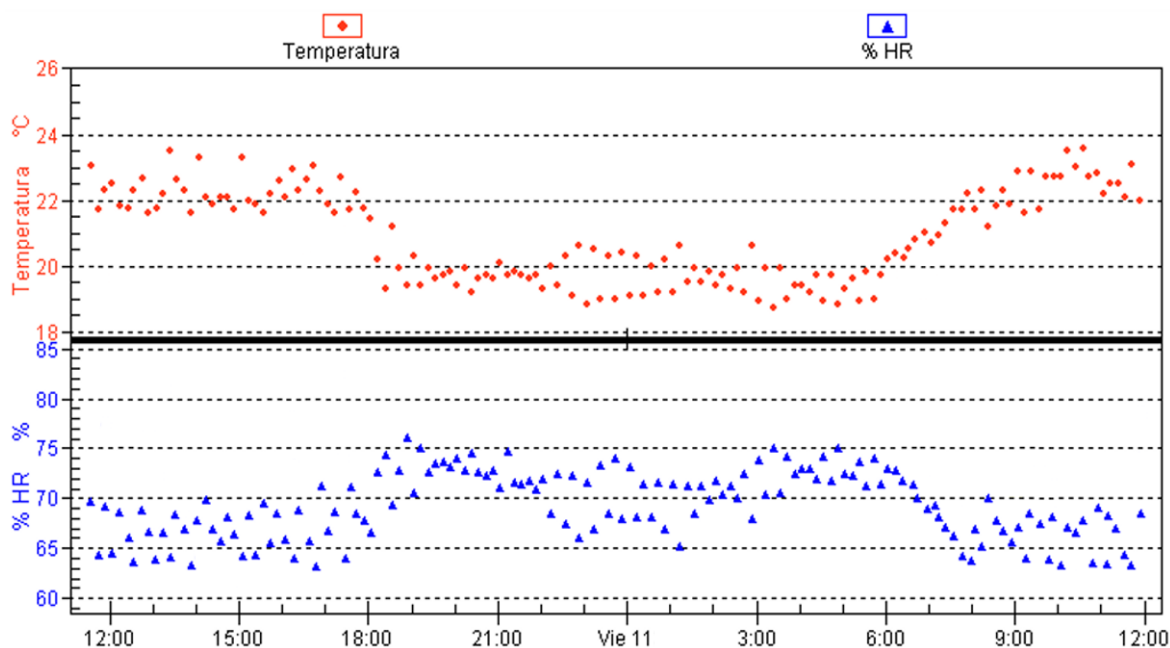


Figura 74. Resultado "Ensayo 3".

Para el cuarto y último ensayo, se mantiene la entrada “Humedad Relativa”, todas las salidas del controlador difuso de los ensayos anteriores y se reduce el rango de temperatura para el día un grado más, es decir, se acorta el rango a 23-25°C.

La entrada difusa de temperatura para el día queda de la siguiente forma:

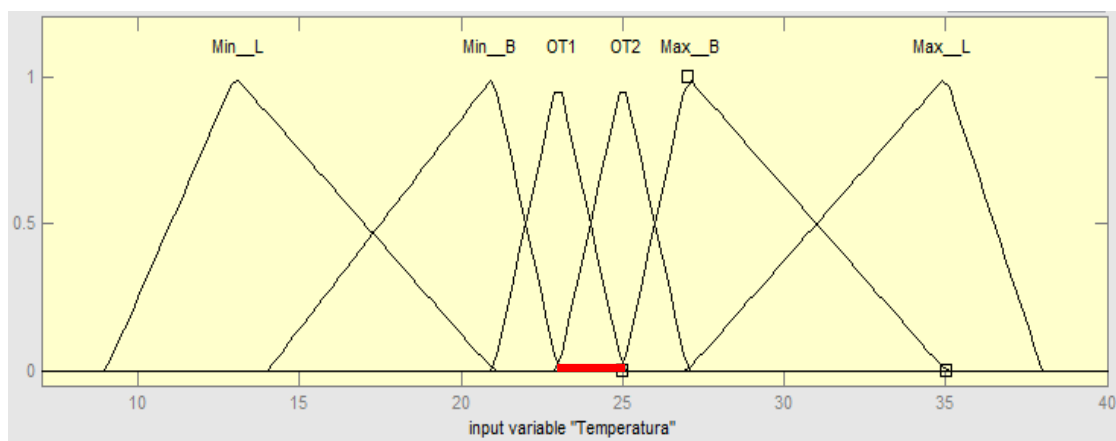


Figura 75. Entrada Temperatura "Ensayo 4".

El resultado del Ensayo 4 es el siguiente:

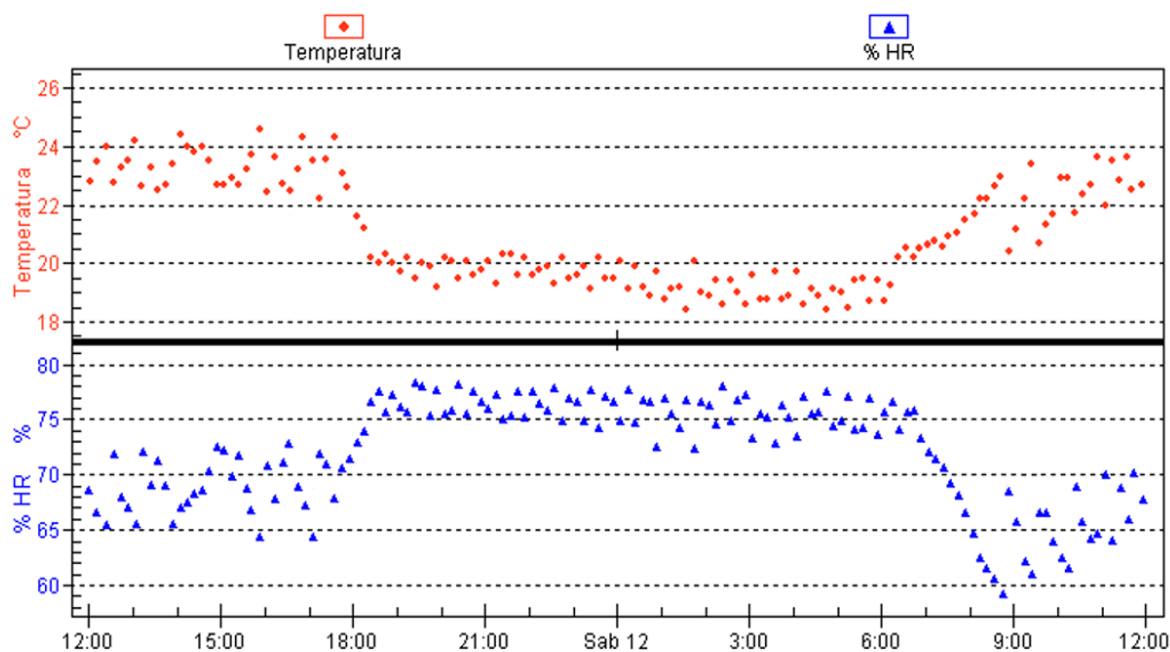


Figura 76. Resultado "Ensayo 4".

En la figura 77 se muestra cómo varía la humedad relativa y la temperatura en el interior del invernadero sin usar un sistema de control automático, pero en este caso para los meses donde se presentan las temperaturas medias más bajas (Junio y Julio).

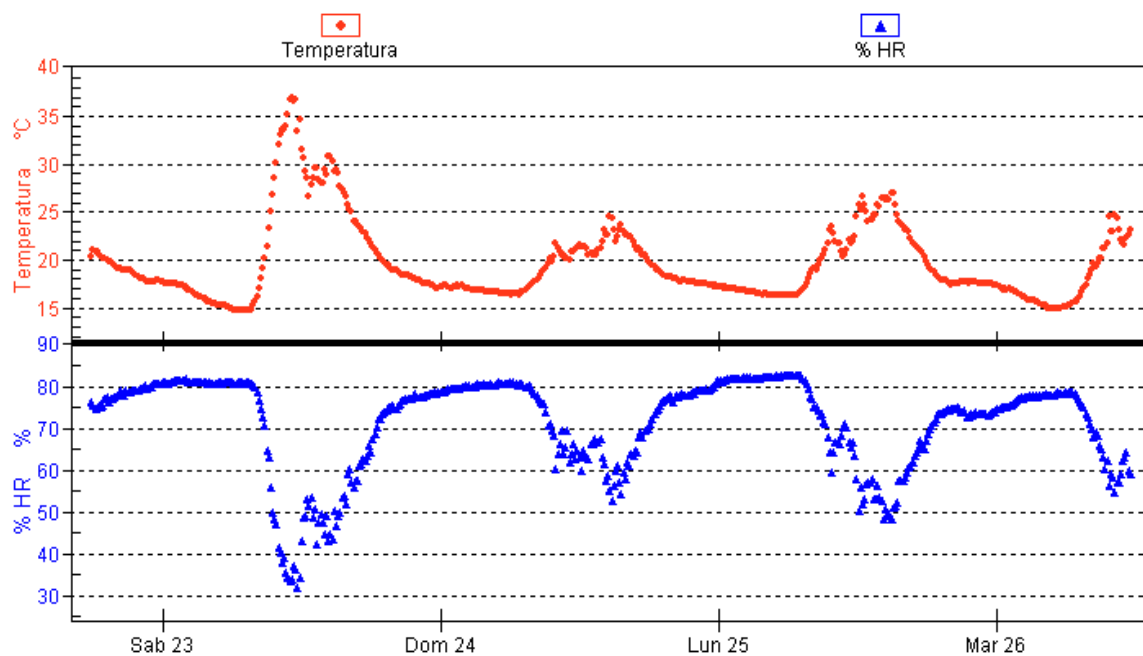


Figura 77. Humedad Relativa y Temperatura en tiempo frío.

Para el siguiente ensayo se usó las mismas entradas y salidas del controlador difuso del Ensayo 3, es decir, se usó el mismo sistema del Ensayo 3 pero aplicado para un día frío, con el rango de 63-77% para la humedad relativa y de 22-26°C para la temperatura del día. Cabe mencionar que para este ensayo tampoco se usó un sensor externo. El resultado del Ensayo 5 es el siguiente:

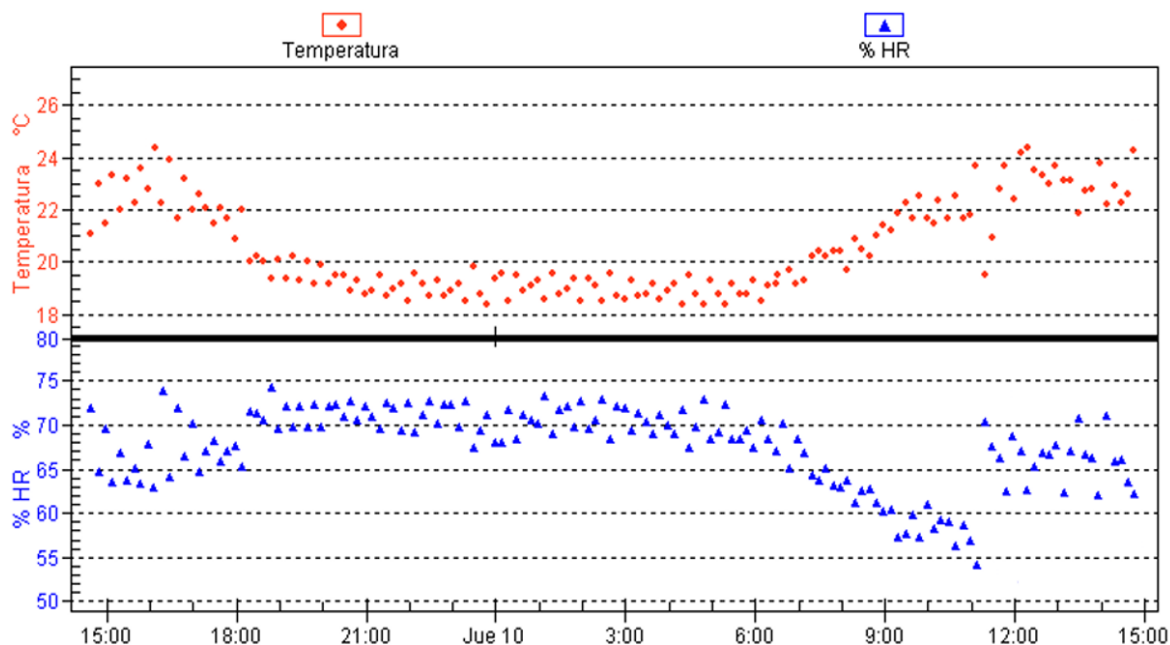


Figura 78. Resultado "Ensayo 5".

Para corregir el problema del Ensayo 5 se usó un sensor RHT03 en el exterior del invernadero. El objetivo del mismo es hacer trabajar al sistema de control automático de forma diferente dependiendo de las condiciones ambientales externas del invernadero. A continuación se describe el funcionamiento del sistema para cada una de las condiciones.

**SI HUMEDAD RELATIVA EXTERNA ES < 70% Y TEMPERATURA EXTERNA ES  $\geq 20^{\circ}\text{C}$**

- Entradas y salidas del controlador difuso iguales al Ensayo 3.

**SI HUMEDAD RELATIVA EXTERNA ES  $\geq 70\%$  Y TEMPERATURA EXTERNA ES  $< 20^{\circ}\text{C}$**

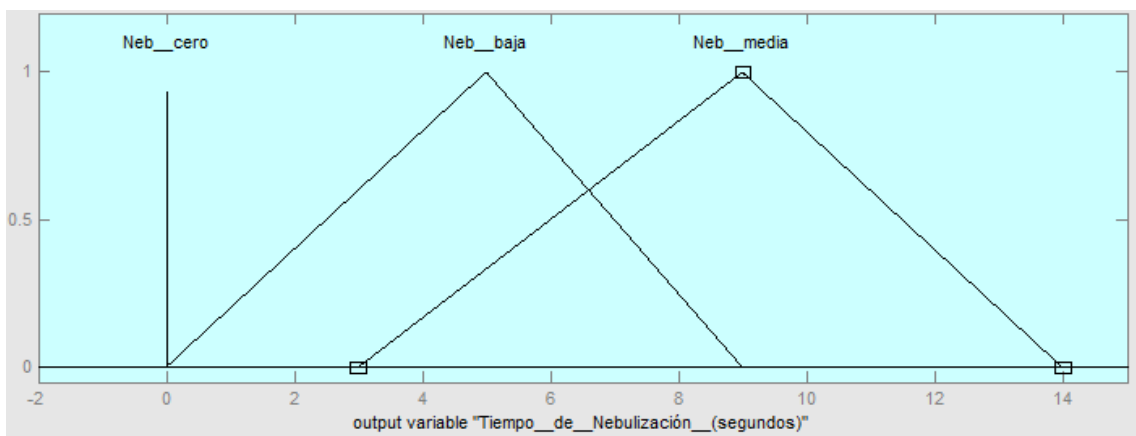
- Entradas del controlador difuso iguales al Ensayo 3.
- Salida “Tiempo de Calefacción” igual al Ensayo 3.
- Salidas “Tiempo de Nebulización” y “Ventilación Alta” puestas en “cero” en la Matriz de Asociación Difusa (Tabla 11).

**SI HUMEDAD RELATIVA EXTERNA ES  $\geq 70\%$  Y TEMPERATURA EXTERNA ES  $\geq 20^{\circ}\text{C}$**

- Entradas y salidas del controlador difuso iguales al Ensayo 3.

**SI HUMEDAD RELATIVA EXTERNA ES  $< 70\%$  Y TEMPERATURA EXTERNA ES  $< 20^{\circ}\text{C}$**

- Entradas del controlador difuso iguales al Ensayo 3.
- Salidas “Tiempo de Calefacción” y “Velocidad de Ventilación” iguales al Ensayo 3.
- La salida “Tiempo de nebulización” del Ensayo 3 se cambia con la siguiente salida:



**Figura 79. Salida "Tiempo de Nebulización" temperatura y humedad baja.**

**Tabla 14. Condiciones sensor externo.**

Es importante mencionar que al usar un sensor externo, el sistema de control trabaja tanto para los tiempos fríos como calurosos, todo esto dado por las condiciones ambientales externas. Los resultados usando un sensor externo son los siguientes:

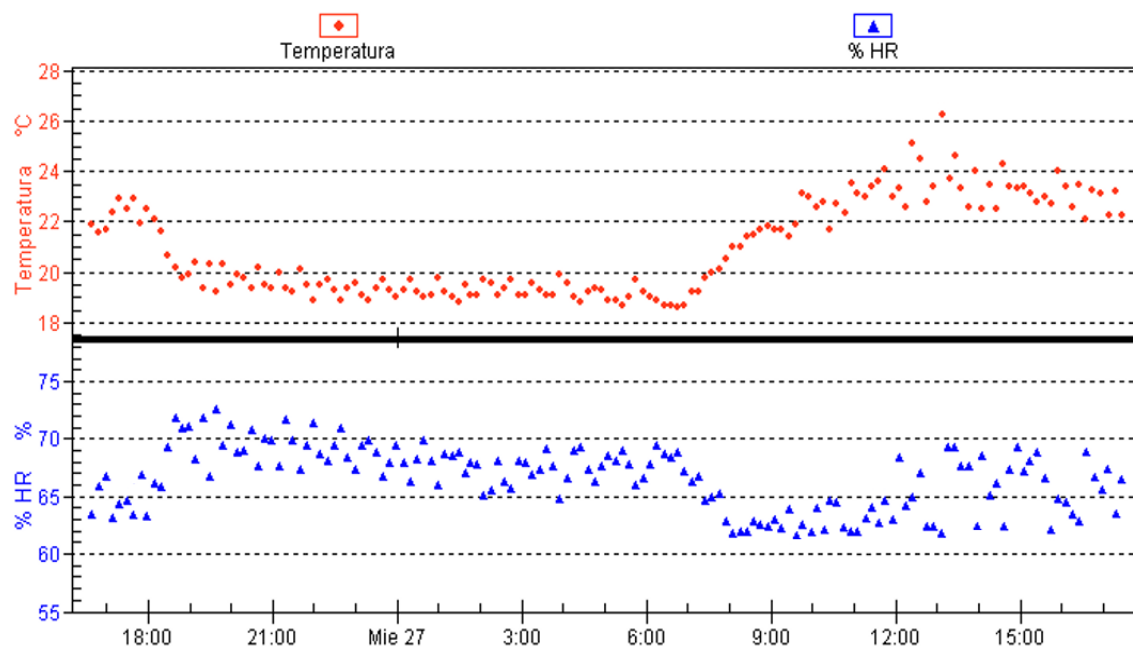


Figura 80. Resultado "Ensayo 6".

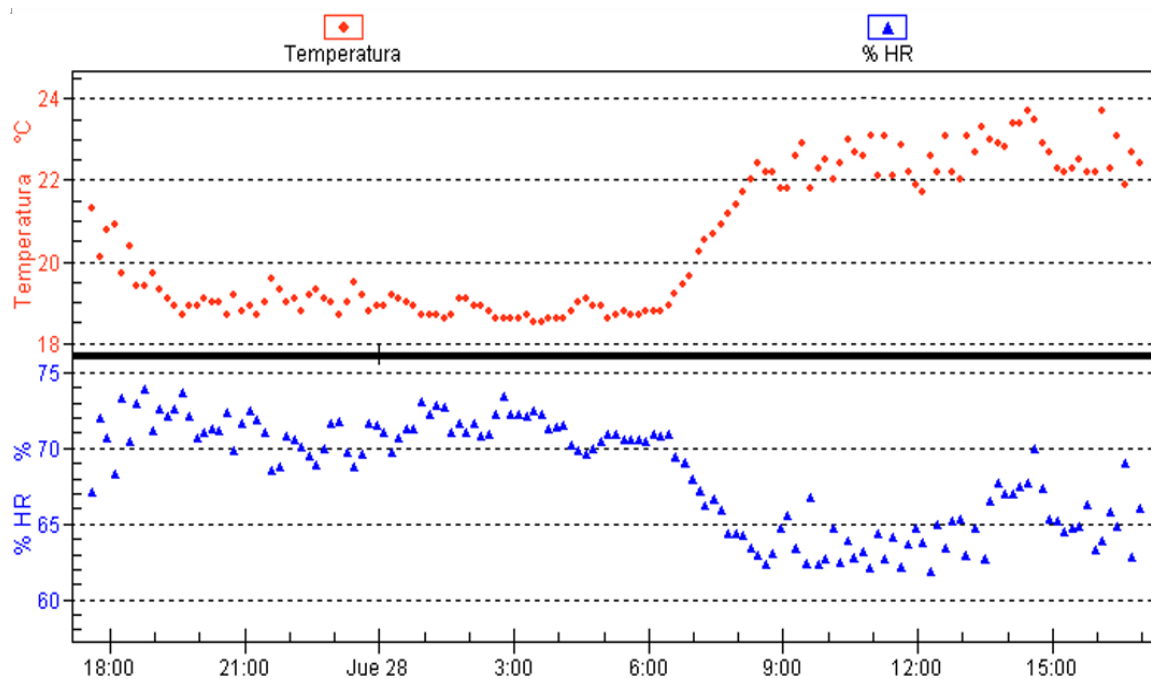


Figura 81. Resultado "Ensayo 7".



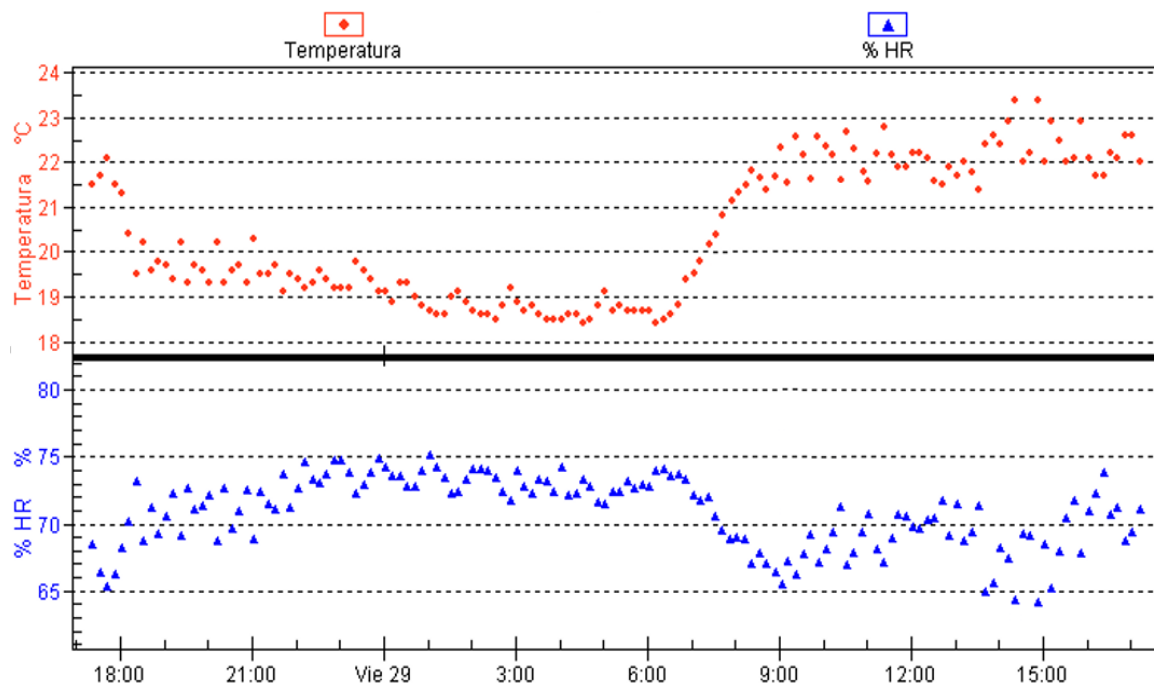


Figura 82. Resultado "Ensayo 8".

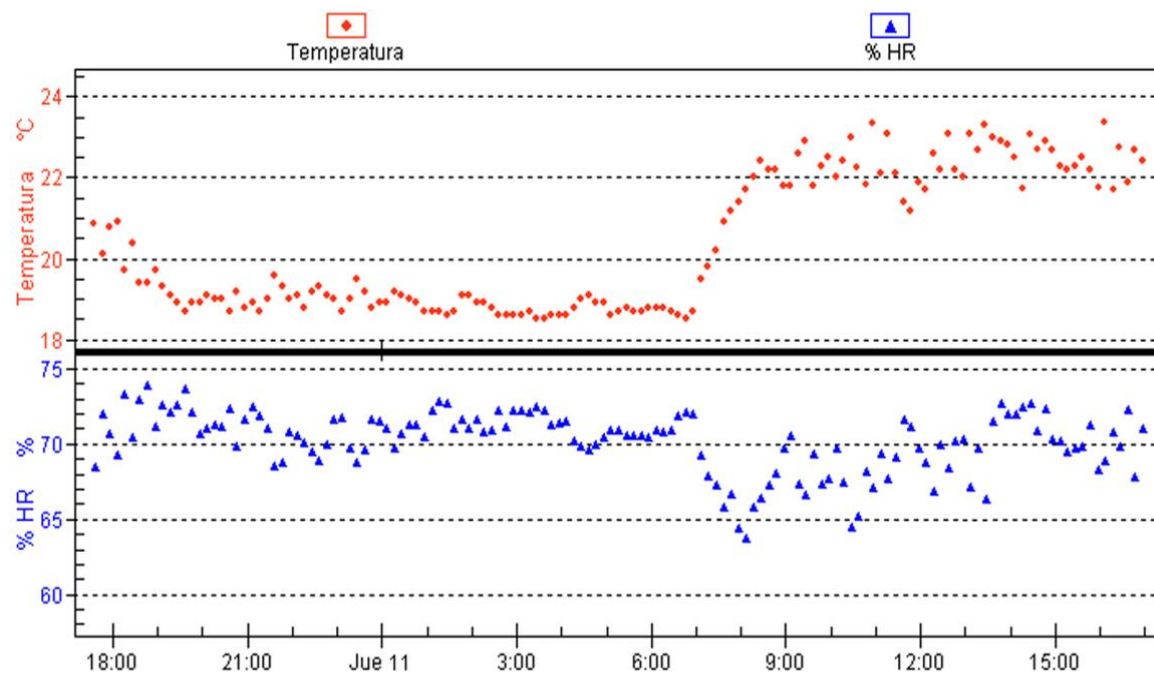


Figura 83. Resultado "Ensayo 9".

## **g. DISCUSIÓN**

De acuerdo a los resultados obtenidos, tenemos un sistema de control automático de humedad relativa basado en un controlador difuso el cual regula y mantiene la humedad relativa en el interior del invernadero en un rango de  $70\pm 10\%$ , y de una forma implícita el mismo sistema también controla la temperatura en un rango de  $24\pm 4$  °C para el día y de  $20\pm 3$  °C para la noche.

En primera instancia se hizo el reconocimiento del invernadero, en donde se obtuvo las dimensiones de su estructura, la superficie del suelo, su volumen, también se observó los distintos materiales de los cuales está constituido el invernadero, tales como piedra y concreto en su mayoría, hierro como estructura metálica y vidrio y policarbonato como paredes y cubierta. Esto con el objetivo de obtener algunos parámetros necesarios para poder dimensionar los sistemas actuadores, tanto para el sistema de humidificación como el de deshumidificación. En segunda instancia, bajo las condiciones ambientales de la ciudad de Loja, se realizó la adquisición de datos de humedad relativa y de temperatura en el interior del invernadero. Estos datos se tomaron para poder conocer el estado del invernadero en ausencia de un sistema de control, con el propósito de poder analizar cuándo éstas variables sobrepasan los rangos idóneos para el cultivo de las orquídeas. Los datos fueron tomados en diferentes instancias, pero principalmente en los meses de Noviembre y Diciembre (tiempo caluroso) donde las temperaturas medias son más altas (ver figura 63) y también en los meses de Junio y Julio (tiempo frío) donde las temperaturas medias son más bajas (ver figura 77), es decir, en el tiempo caluroso el invernadero presenta valores alrededor de 33-85% para la humedad relativa con una temperatura que está en el rango de 12-38 °C, para el tiempo frío el rango de humedad relativa es de 45-85% con temperaturas de aproximadamente de 15-25 °C. En ambos casos los valores de humedad relativa más altos se encuentran a lo largo de la noche o durante el día cuando es lluvioso, pero los más bajos generalmente se hallan al mediodía. En el tiempo caluroso, a mediodía se presentan valores altos de temperatura que llegan a los 38 °C, mientras que para el tiempo frío la temperatura baja alrededor de los 25 °C.

Cabe mencionar que todos estos rangos de valores son muy importantes, que junto con los demás parámetros del invernadero anteriormente mencionados, dan un buen criterio para

poder seleccionar y dimensionar de mejor manera tanto los sistemas actuadores como el controlador.

En la revisión de la literatura se mencionan los sistemas más comúnmente usados para aumentar y disminuir la humedad relativa en un invernadero, indicando a la vez algunas de sus características más importantes, como por ejemplo, su costo, su rendimiento, facilidad de instalación, tiempo de respuesta, mantenimiento, entre otras. En este proyecto para la selección de los actuadores se tomó en cuenta la mayoría de los factores mencionados anteriormente, pero principalmente su costo y rendimiento, ya que al ser un invernadero relativamente pequeño es factible disponer de sistemas poco costosos y con un rendimiento considerable.

En el caso del sistema de humidificación, se optó por el sistema de nebulización a baja presión por los siguientes motivos: es el menos costoso de todos los demás sistemas, ya que el sistema solo está constituido por un sistema de tuberías, una electrobomba, boquillas nebulizadoras (Coolnet) y un tanque reservorio de agua; está disponible en el mercado, porque al ser de baja presión tanto las boquillas como la electrobomba son muy comunes en el mercado; necesita de poco mantenimiento; su instalación es sencilla, es decir tiene pocos elementos; es muy fácil de automatizar, ya que solo se controla el encendido y apagado de la electrobomba; y alcanza valores de humedad relativa cerca del 100%, es decir, tiene un rendimiento alto ya que posee una gran cantidad de boquillas nebulizadoras que cubre casi toda la superficie por encima de las plantas. Cabe mencionar que el sistema de paneles de evaporación es poco eficiente, porque depende mucho de la estanquidad del invernadero, pero el sistema de nebulización de alta presión es más eficiente que el de baja presión, ya que el tamaño de las gotas es de tan solo 10 micras frente al de 60 micras de baja presión, motivo por el cual hace que la humedad se mantenga mucho más tiempo en el ambiente sin mojar el piso. Pero su costo, instalación y mantenimiento, de este último sistema, lo hacen prácticamente inasequible.

Para el caso del sistema de deshumidificación se escogió dos sistemas, el sistema de ventilación forzada mixta y el sistema de calefacción por aerotermo eléctrico. El sistema de ventilación se diseña principalmente para complementar el sistema de nebulización, es

decir, se usa para homogenizar la humedad en el interior del invernadero mediante el ventilador impulsor y luego extraer la humedad excesiva mediante el ventilador extractor.

Este sistema, además de permitir desplazar la humedad fuera del invernadero, también sirve para renovar el aire en el interior del mismo y su principal ventaja frente a los otros sistemas de ventilación es que tanto la entrada como la salida de aire presenta independencia frente a los vientos, es decir, cuando se use el sistema de calefacción en el invernadero, no habrá pérdidas de calor por causa de espacios completamente abiertos. Por último se escogió el sistema de calefacción por aerotermo eléctrico, ya que al tratarse en este caso de un invernadero relativamente pequeño presenta algunas ventajas frente a los sistemas de tuberías de agua caliente y generadores de aire caliente, es decir, este sistema es tres veces menos costoso que los demás sistemas de calefacción, porque no necesita de un sistema de conductos ni mangas que guíe el aire caliente; el sistema no necesita de calderas, lo cual lo hace más limpio que los otros sistemas al no emanar ningún tipo de gas perjudicial para las orquídeas; es mucho más fácil de automatizar, ya que solo se necesita contactos eléctricos y no ningún tipo de dispositivo especial; y su eficiencia es similar a la de los otros sistemas de calefacción, esto debido a que el invernadero es relativamente pequeño. Es importante mencionar que se tomó en cuenta algunas características del invernadero, como su volumen para dimensionar el sistema de ventilación; los materiales de construcción y la temperatura máxima a incrementar para dimensionar el sistema de calefacción.

Una vez instalados todos los sistemas actuadores se procedió a experimentar con cada uno de ellos, es decir, se observó el tiempo de respuesta que presenta cada sistema en diferentes instancias o en diferentes días. El sistema de humidificación fue probado generalmente en días soleados o calurosos, donde la humedad relativa es baja y la temperatura es alta, con el objetivo de saber cuáles son los tiempos de nebulización necesarios para subir la humedad relativa al valor óptimo permitido dependiendo del valor de humedad relativa inicial. Para el sistema de deshumidificación se procedió de la misma forma, con la diferencia que los ensayos fueron realizados en días fríos y lluviosos, tanto en el día como en la noche, donde la humedad relativa generalmente es alta y la temperatura es baja, obteniendo de igual forma los tiempos de calefacción necesarios para bajar la humedad relativa al valor

óptimo. Con estas pruebas se pudo obtener los tiempos de nebulización y calefacción: bajo, medio y alto, que se usaron como salidas en el controlador difuso (ver Anexo 3).

Luego de las experimentaciones se diseñó el sistema de control automático, el cual se basó en un controlador difuso como parte principal. En el controlador difuso se configuró los rangos permisibles tanto para la humedad relativa como para los rangos temperatura para el día y para la noche. El reloj RTC DS1307 es el encargado de enviar las respectivas señales al controlador, para que el mismo sepa cuando es de día o de noche, y posteriormente pueda seleccionar la entrada de temperatura adecuada. El día va desde las 6h00 hasta las 17h59, y la noche va desde las 18h00 hasta las 5h59. En los ensayos no se modificó el rango de temperatura para la noche ya que el rango es muy corto, mientras que si se lo hizo en el rango de temperatura para el día con el fin de ir observando cómo funciona el sistema. Es importante indicar que los rangos de temperatura que se mencionan a continuación son los rangos de temperatura para el día.

En los cinco primeros ensayos no se usó un sensor externo RHT03, solamente se usaron los cuatro sensores RHT03 que se encuentran ubicados a la altura de las orquídeas. Desde el primer al quinto ensayo se fue acortando grado a grado el rango permisible de temperatura (20-28°C), pero el rango de humedad relativa se lo mantuvo en 63-77%, esto con la finalidad de ir observando hasta qué punto puede calentarse el invernadero sin tener que reducir la humedad por debajo del 63%, ya que si la temperatura sube, la humedad relativa generalmente tiende a bajar. Cabe mencionar que estos ensayos se realizaron en tiempo caluroso. En el resultado del primer ensayo (ver figura 70) se puede observar que al tener como límite inferior solo 20°C, la humedad relativa en este caso tiende a subir, para este ensayo se ubica en un rango de 65-75%, también se puede notar que el sistema comienza a humidificar o nebulizar generalmente cerca de las 10h00 hasta las 17h00 cuando la temperatura es alta y, a subir la temperatura o a deshumidificar en el amanecer y durante toda la noche cuando la temperatura es baja. Para el segundo ensayo (ver figura 72) el límite inferior de temperatura sube a 21°C, el sistema trabaja de forma similar al primer ensayo, y de igual manera los valores tanto de humedad relativa y temperatura se encuentran en los rangos permisibles. En el resultado del tercer ensayo (ver figura 74) se observa que la humedad relativa cae por debajo del 65% en las primeras horas de la

mañana, esto debido a que el límite inferior de temperatura subió un grado y el sistema tiene que calentar hasta subir a los 22°C. Esto sucede solo en la mañana, ya que en la tarde el sistema por lo general nebuliza debido a que la temperatura es alta y la humedad relativa es baja. El rango de humedad relativa para este ensayo es de 63-77%, el de temperatura es de 21,7-23.5°C para el día y de 19-21°C para la noche, los mismos que se encuentran en los rangos permisibles. Para el cuarto ensayo (ver figura 76) el límite inferior de temperatura es de 23°C y su resultado muestra que la humedad relativa cae por debajo del 60% en las primeras horas de la mañana, debido a que el sistema tiene que calentar el invernadero por mucho más tiempo. Este ensayo presenta un rango de humedad relativa del 59-77% y un rango de temperatura de 22,5-24,5°C para el día y de 18,5-20,5°C para la noche. Por este motivo para que el sistema mantenga los valores de humedad relativa en el rango permisible, las entradas y salidas del controlador difuso quedaron como las del Ensayo 3, la cual también nos da valores de temperatura dentro del rango aceptable por las orquídeas.

En el quinto ensayo (ver figura 78) se observa el resultado que se obtuvo al usar el mismo sistema del Ensayo 3 pero en este caso para la temporada fría del año. En este ensayo la humedad relativa cae por debajo del 60% durante mucho más tiempo que la del Ensayo 4 hasta llegar al 54%, ya que al trabajar en temporada fría el sistema por lo general calienta el invernadero muchas más veces que en temporada calurosa. También se puede notar que cuando el sistema estabiliza la humedad relativa cerca del 70%, el calor ganado en el invernadero se pierde abruptamente bajando en este caso la temperatura alrededor de 4°C, esto no sucede en la temporada calurosa ya que al poseer el invernadero una estructura metálica, esta se calienta y hace que el calor no se pierda tan rápidamente. Para solucionar este problema se implementó un sensor RHT03 en el exterior del invernadero, con el objetivo de identificar cuando el invernadero se calienta por acciones naturales o debido al sistema calefactor, para luego poder nebulizar con el tiempo adecuado y no hacer descender la temperatura abruptamente. Las condiciones del sensor externo se encuentran en la Tabla 14.

En la primera condición, el sistema trabaja en su mayoría nebulizando y en pocas ocasiones hace uso del sistema calefactor. Esto debido a que se conoce que si la temperatura exterior se encuentra por encima de los 20°C y la humedad relativa exterior es menor que el 70%, la

temperatura en el interior del invernadero se encuentra algunos grados centígrados más caliente que la del exterior, ya que el mismo posee una estructura metálica; generalmente la temperatura se encuentra por encima de los 23°C. La humedad relativa en esta condición es baja, es por esto que el sistema casi en todas las instancias trabaja humidificando o nebulizando. En la segunda condición, el sistema solo hace uso del sistema calefactor, ya que al haber una humedad relativa exterior superior al 70%, el interior del invernadero también se encuentra a valores de humedad relativa similares. En este caso el sistema solo tiene que calentar debido a su baja temperatura y sin necesidad de reducir la humedad considerablemente. Cabe mencionar que esta condición generalmente se aplica para días lluviosos y a lo largo de toda la noche. En la tercera condición el sistema trabaja igual que en la primera, ya que las condiciones externas que se presentan en esta condición son poco probables. En la cuarta condición el sistema también trabaja como en la primera, pero con la única diferencia que la salida “Tiempo de Nebulización” se cambia por otra salida con los tiempos de nebulización más cortos (ver figura 79), esto debido a que si se nebuliza con tiempos de nebulización como los de la primera condición después de haber calentado el invernadero, la temperatura ganada en el invernadero se pierde rápidamente. En esta condición el sistema trabaja con el sistema de calefacción y nebulización al mismo tiempo.

Los resultados de los ensayos 6, 7 y 8 (ver figuras 80,81 y 82), muestran como el sistema trabaja en la primera, segunda y cuarta condición, es decir, se puede notar que las primeras horas de la mañana y las ultimas de la tarde el sistema trabaja en la cuarta condición, ya que las amplitudes de las nebulizaciones son cortas; alrededor del mediodía en cambio el sistema trabaja en la primera condición, esto debido a que las nebulizaciones son más amplias y los valores de temperatura son los más altos del día; y por último el sistema trabaja en la segunda condición a lo largo de toda la noche, donde se puede observar que tanto la humedad relativa como la temperatura se encuentran más estables, debido a que el sistema solo hace uso del sistema de calefacción. En el resultado del Ensayo 9 (ver figura 83), se puede observar un día totalmente lluvioso, en este caso el sistema trabaja solo en la segunda condición. En todos los ensayos anteriores también se puede ratificar que tanto la humedad relativa como la temperatura se encuentran en los rangos permisibles para el cultivo de las orquídeas. En general la humedad relativa se encuentra en un rango del 62-

75%, la temperatura se encuentra en un rango de 21,5-26°C para el día y para la noche en un rango de 18,5-20°C.

A continuación se muestran las tablas comparativas sobre los sistemas actuadores más usados para variar la humedad relativa en invernaderos. También se muestra las tablas comparativas sobre placas electrónicas más comunes.

<b>Características</b>	<b>SISTEMAS DE HUMIDIFICACIÓN</b>			
	<b>Paneles de evaporización</b>	<b>Nebulización de alta presión</b>	<b>Nebulización de baja presión</b>	<b>Nebulización agua-aire</b>
Nivel máximo de humedad relativa	70%	100%	100%	100%
Costo	Medio	Alto	Bajo	Alto
Mantenimiento	Alto	Alto	Bajo	Alto
Tiempo de respuesta	10 minutos	30 segundos	50 segundos	30 segundos
Ámbito de aplicación	Áreas pequeñas	Áreas grandes	Áreas grandes	Áreas grandes
Dependencia de la estanquidad del invernadero	Si	No	No	No
Facilidad de instalación	No	No	Si	No
Dependencia de la calidad de agua	No	Si	No	Si
Tamaño de gota de agua	Aire húmedo	10 micras	65 micras	10 micras
Dependencia de la humedad relativa externa del invernadero	Si	No	No	No

**Tabla 15. Sistemas de humidificación.**



<b>Características</b>	<b>SISTEMAS DE DESHUMIDIFICACIÓN</b>		
	<b>Generadores de aire caliente</b>	<b>Tuberías de agua caliente</b>	<b>Aerotermo</b>
Principio de funcionamiento	A base de gas (propano y gasoil)	A base de agua caliente	A base de energía eléctrica
Costo	Alto	Alto	Bajo
Mantenimiento	Alto	Alto	Bajo
Tiempo de respuesta	10 minutos	40 minutos	10 minutos
Ámbito de aplicación	Áreas grandes	Áreas grandes	Áreas pequeñas
Distribución del calor	No uniforme	Uniforme	No uniforme
Facilidad de instalación	No	No	Si
Amigable con el medio ambiente	Combustión directa: No Combustión indirecta: Si	Si	Si
Transferencia de calor	Convección	Convección y conducción	Convección
Rendimiento	90%	90%	80%

**Tabla 16. Sistemas de deshumidificación.**

<b>Características</b>	<b>TARJETAS ELECTRÓNICAS</b>	
	<b>Arduino Uno</b>	<b>Raspberry Pi modelo B</b>
Costo	30 dólares	35 dólares
Tamaño	7.6x1.9x6.4cm	8.6cmx5.4cmx1.7cm
Memoria	2KB	512MB
Multitarea	No	Sí
Memoria Flash	32KB	Tarjeta SD (2 a 16GHz)
Sistema Operativo	Ninguno	Distribuciones de Linux

**Tabla 17. Tarjetas electrónicas.**

Modelo	TARJETAS ARDUINO						
	Microcontrolador	Frecuencia de Reloj	I/O Digitales	Entradas Analógicas	Salidas PWM	Memoria Flash	Memoria SRAM
Uno	ATmega328	16 MHz	14	6	6	32 Kb	2KB
Leonardo	ATmega32U4	16 MHz	20	12	7	32 Kb	2.5KB
Mega r3	ATmega2560	16 MHz	54	16	14	256 Kb	8KB
Mini	ATmega328	16 MHz	14	6	8	32 Kb	2KB

Tabla 18. Tarjetas Arduino.

## **h. CONCLUSIONES**

- Se demostró que sí es posible controlar la humedad relativa y la temperatura en el interior de un invernadero mediante un controlador difuso basado en la placa Arduino Mega 2560, con sistemas actuadores y sensores disponibles en el mercado. Esto gracias a un vasto conocimiento acerca de la planta mediante pruebas realizadas con los sistemas de humidificación y deshumidificación a lo largo de la realización del proyecto.
- La automatización jugó un papel importante en el control del clima, ya que con el sistema electrónico diseñado se llegó a tener un desempeño eficiente mediante el accionamiento de los sistemas actuadores de manera inmediata cuando la humedad relativa o temperatura se vio afectada dentro de sus rangos permisibles.
- Las gráficas obtenidas muestran el comportamiento de las variables (humedad relativa y temperatura) y reflejan la dificultad de controlar el clima en un invernadero. Las gráficas de humedad relativa y temperatura se mantuvieron en rangos establecidos con una forma oscilatoria dentro de éstos, por lo cual el sistema funcionó correctamente. Cabe indicar que la humedad relativa y la temperatura están dentro de un rango óptimo por tal motivo nunca se buscó llegar a valores determinados como es en el caso del control clásico.
- La lógica difusa fue una de las herramientas más importantes que permitió desarrollar y crear un controlador difuso de forma práctica, obteniendo buenos resultados al involucrar la humedad relativa y temperatura en un mismo controlador, basándose en estrategias capaces de resolver las distintas alteraciones que se presentaban a base del conocimiento de la planta.
- En el desarrollo de controladores difusos no existe una metodología específica a seguir, ya que depende en gran medida al tipo de aplicación, y para su desarrollo e implementación es necesario un vasto conocimiento o experiencia acerca de la planta, la cual sirve más tarde para derivar la base de reglas del controlador.
- La estructura metálica del invernadero jugó un papel importante, ya que al calentarse, el invernadero se comportaba como un horno, y cuando se nebulizaba con periodos de tiempo prolongados, su temperatura descendía lentamente,

permitiendo llegar en algunos casos a valores óptimos tanto para la humedad relativa como para la temperatura, es decir a 24°C de temperatura y 70% de humedad relativa. Pero la desventaja se presentaba en la noche cuando la misma estructura absorbía parte del calor ganado, razón por la cual el sistema de calefacción tenía que trabajar entre periodos de tiempo más cortos para poder llegar a valores deseados.

- La capacidad de los sistemas actuadores para aumentar o disminuir la humedad relativa fue la deseada, reflejando su funcionalidad en las gráficas obtenidas en cada uno de los ensayos. El sistema nebulizador logró aumentar la humedad relativa a un máximo de 85%, reduciendo al mismo tiempo la temperatura hasta 19°C. Por otro lado el sistema calefactor logró reducir la humedad relativa por debajo del 60%, y aumentar la temperatura a un máximo de 8°C respecto a la temperatura exterior del invernadero.
- El error del sistema respecto a las gráficas obtenidas con el Fluke 975 es de aproximadamente  $\pm 3\%$  para la humedad relativa, y de  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  para la temperatura. Cabe mencionar que la comparación se hace con los valores que resultan de la media de los cuatro sensores RHT03 y el Fluke 975 a una misma altura, es decir, a la altura de las plantas.
- El sensor exterior ayudó a identificar al sistema en que instancia tiene que cambiar la salida de nebulización normal por una con rangos de tiempo mucho más cortos, esto con el objetivo de no reducir la temperatura abruptamente en el interior del mismo luego de usar el sistema de calefacción. El sensor también ayudo a identificar cuando el sistema tiene que nebulizar con periodos de tiempo más largos, cuando tiene que solo usar el sistema de calefacción, y cuando tiene que usar los dos sistemas al mismo tiempo.
- De acuerdo a los resultados, los mejores registros de humedad relativa que se obtuvieron fueron a lo largo de la noche, esto debido a que en este periodo de tiempo la humedad relativa se eleva por encima del 75%, y esto hace que el sistema de control solo haga uso del sistema de calefacción para reducir la humedad relativa, y reflejando de esta forma valores poco oscilatorios muy cercanos al 70%.

## **i. RECOMENDACIONES**

- Al realizar la adquisición de datos de humedad relativa y temperatura, es recomendable utilizar equipos o instrumentos que contengan sensores calibrados, con la intención de obtener datos reales, precisos, y confiables. Los datos que midan los equipos, eventualmente servirán para comparar con los datos obtenidos por los sensores usados en el sistema de control, con la finalidad de observar el error y luego poder calibrarlos si los sensores lo permiten.
- Tomar en cuenta los materiales de construcción de la estructura del invernadero para el diseño del aerotermo eléctrico, ya que dependiendo del tipo de los materiales, estos absorben una cierta cantidad de calor del ambiente, minimizando de esta manera la eficiencia del aerotermo eléctrico. Para un cálculo rápido de la resistencia calefactora del aerotermo eléctrico, se puede usar un factor de seguridad de hasta 2, es decir, es recomendable duplicar la potencia resultante de la resistencia calefactora.
- Hacer un análisis de la potencia eléctrica total que se dispone en el lugar del proyecto antes de diseñar el aerotermo eléctrico, ya que dependiendo de las dimensiones del invernadero el valor de la resistencia calefactora cambia. Es decir, a mayor volumen del invernadero se necesita un valor de potencia más alto de la resistencia calefactora.
- Usar resistencias calefactoras a base de níquel-cromo y de tipo espiral para el sistema de calefacción (aerotermo), ya que estas no presentan gran oposición al paso del flujo de aire, con la particularidad de que se calientan a altas temperaturas y pierden gran cantidad de calor al impulsar aire a través de ellas mediante un ventilador.
- Al momento de cortar el suministro de corriente eléctrica en las resistencias calefactoras, es recomendable mantener encendido el ventilador centrífugo por al menos 90 segundos, esto debido a que las resistencias calefactoras aún siguen a altas temperaturas y es necesario enfriarlas. Al enfriarlas se garantiza que no se fundan o rompan los conectores eléctricos que se encuentran en sus extremos.

- Usar materiales de alta calidad en la construcción del sistema de nebulización, es decir, usar tubería o manguera de polietileno para soportar altas presiones, esto con el objetivo de prevenir posibles fugas de agua que puedan afectar al funcionamiento adecuado del sistema.
- Si se utilizan nebulizadores Coolnet, se recomienda ubicarlos a la mayor altura posible, mínimo a una altura de 3 m. También es recomendable usar con este sistema un sistema de ventilación forzada que renueve el aire a 20 renovaciones por hora, para homogenizar el aire húmedo y evitar que se moje la superficie del suelo.
- Aumentar una etapa de filtrado de agua en el sistema de nebulización, ya que si se carece de agua con pocas impurezas, las boquillas Coolnet se pueden obstruir. El agua utilizada para nebulizar no tiene que ser potable, ya que la cantidad de cloro que tiene la misma provoca enfermedades en las hojas de las plantas.
- Ubicar el ventilador impulsor del sistema de ventilación en un determinado lugar donde no incida directamente sobre las plantas, esto debido a que si se impone una ventilación directa a jóvenes plántulas, esto podría deshidratar el joven y frágil follaje
- Utilizar protecciones eléctricas necesarias para cada uno de los sistemas actuadores, en especial para el sistema de calefacción, con el objetivo de prevenir las sobrecargas y minimizar el peligro para las personas y el riesgo de daños a equipos eléctricos adyacentes.
- Colocar los sensores cerca de las plantas, ya que lo que importa es la humedad relativa y temperatura a nivel de las plantas. También es recomendable usar al menos cuatro sensores si el invernadero tiene una superficie alrededor de los 100m<sup>2</sup>, esto con la intención de obtener valores promedios válidos y cercanos a los reales.
- Usar la placa electrónica Arduino Mega 2560, ya que esta nos permite la programación y reprogramación sin necesidad de extraer el chip de la placa, optimizando de esta forma el tiempo. También al poseer más memoria RAM y más pines que otras placas, es útil cuando se dispone de un programa extenso, y cuando se utilizan pantallas GLCD.

- Diseñar un sistema de telemetría que permita observar la variación de la humedad relativa y temperatura del invernadero en el bloque técnico del jardín botánico “Reinaldo Espinosa” a través de enlaces radioeléctricos.
- Diseñar un sistema de base de datos que permita almacenar los valores de humedad relativa y temperatura del invernadero. Además que permita visualizar los datos en una pantalla gráfica y extraer los registros mediante un computador.
- Llevar a cabo investigaciones más profundas sobre el efecto de la humedad relativa y temperatura en el crecimiento de las orquídeas de clima tropical.
- Utilizar aguas lluvia o agua de reservorios naturales para el sistema de nebulización, ya que el agua potable contiene cloro y afecta considerablemente al cultivo de las orquídeas mediante la resequedad de su follaje.
- Elaborar un plan de mantenimiento para solucionar los diferentes problemas que podrían existir durante el funcionamiento del sistema de control, como taponamiento de las boquillas nebulizadoras, no succión de agua de la electrobomba, limpieza de tanque reservorio y atascamiento de la electrobomba, entre otros.

## **j. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **PÁGINAS WEB**

- [1] J. Cid. (2003 Octubre). Historia de los invernaderos. [En línea]. Disponible en: [http://biblioteca.upaep.mx/pdf/L\\_IMEC\\_Cid\\_Villa\\_JD.pdf](http://biblioteca.upaep.mx/pdf/L_IMEC_Cid_Villa_JD.pdf)
- [2] Agrobot. (2012). Tipos de invernaderos. [En línea]. Disponible en: [http://www.agrobot.com/Info\\_tecnica/alternativos/horticultura/al\\_000010ho.htm](http://www.agrobot.com/Info_tecnica/alternativos/horticultura/al_000010ho.htm)
- [3] Ulma agrícola. (2012). Invernadero tipo túnel. [En línea]. Disponible en: <http://www.ulmaagricola.com/caste/productos/productos.asp?idprod=1#imagen>
- [4] Ininsa. (2006). Invernaderos de producción. [En línea]. Disponible en: <http://ininsa.es/invernaderos.html>
- [5] M. Giordano. (2014 Febrero 18). Invernadero tipo dientes de sierra. [En línea]. Disponible en: <http://tipos-de-energia.blogspot.com/2006/02/energa-solar-pasiva.html>
- [6] Invernaderos Chile. (2008). Invernadero tipo capilla. [En línea]. Disponible en: <http://www.invernaderoschile.cl/2008/12/27/invernadero-tipo-capilla/>
- [7] W. Javier. (2013 Octubre 1). Los invernaderos en plena expansión en México. [En línea]. Disponible en: <http://www.4vientos.net/los-invernaderos-en-plena-expansion-en-mexico-son-la-solucion-agricola-ante-el-rigor-climatico/>
- [8] Rufepa. (2010). Invernaderos de plástico. [En línea]. Disponible en: [http://www.rufepa.com/invernaderos\\_plastico\\_parral.htm](http://www.rufepa.com/invernaderos_plastico_parral.htm)
- [9] Jardín Plantas. (2010 Marzo 18). Cómo elegir un invernadero convencional. [En línea]. Disponible en: <http://jardinplantas.com/como-elegir-un-invernadero-convencional/>
- [10] S. Giraldo. (2011 Marzo 26). Humedad en invernaderos. [En línea]. Disponible en: <http://www.invernaderosyjardines.com/home/item/13-humedadinvernaderos.html>
- [11] O. Ramírez Ramos. (2008). Lógica difusa. [En línea]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/ramirez\\_r\\_o/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf)
- [12] R. Jiménez Madrigal. (2007). Controlador Lógico Difuso. [En línea]. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/1736/1/Tesis-Jimenez-Madrigal-Rene.pdf>
- [13] A. Dávila Montenegro. (2013 Octubre). Sistemas de control basados en lógica difusa. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5371/1/UPS-ST001041.pdf>



- [14] G. Acosta. (2006). Taller de controlador basado en lógica difusa. [En línea]. Disponible en: [http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/op\\_nn%26fl/taller.pdf](http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/op_nn%26fl/taller.pdf)
- [15] A. Castillo. (2008 Agosto 8). Tutorial de introducción de lógica borrosa. [En línea]. Disponible en: <http://www.dma.fi.upm.es/research/FundMatSoftComputing/pr.htm>
- [16] M. Gonzales Real. (2011 Marzo). Climatización estival. [En línea]. Disponible en: <http://ocw.bib.upct.es/mod/resource/view.php?id=5476>
- [17] J. López García. (2013 Octubre 26). Control climático en invernaderos. [En línea]. Disponible en:  
[www.infojardin.com/foro/attachment.php?attachmentid=19576&d=1165013401](http://www.infojardin.com/foro/attachment.php?attachmentid=19576&d=1165013401)  
"CONTROL CLIMATICO EN INVERNADEROS"
- [18] N. Castilla. (2007). Intervención con las bajas temperaturas: calefacción. Intervención con las altas temperaturas: refrigeración. [En línea]. Disponible en: [http://books.google.com.ec/books?id=2kQZw3fNEPMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=2kQZw3fNEPMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [19] Escoda Salvador. (2012 Noviembre 23). Manual práctico de ventilación. [En línea]. Disponible en: <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/ve/Manual-Ventilacion.pdf>
- [20] J. Maroto. (2008). Calefacción por aire caliente. [En línea]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books?id=yfwirjAGwTAC&printsec=frontcover&dq=Elementos+de+horticultura+general&hl=es&sa=X&ei=jP3eU-2PBo7fsASv44KACQ&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=Elementos%20de%20horticultura%20general&f=false>
- [21] Pedrollo. (2008). Electrobomba Pedrollo PKm60. [En línea]. Disponible en: <http://www.pedrollo.co.uk/pdf/New-PK60.pdf>
- [22] J. Ignacio Montero. (2002). Refrigeración de invernaderos. [En línea]. Disponible en: [http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/4569/refrigeracion\\_invernaderos\\_II.pdf?sequence=1](http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/4569/refrigeracion_invernaderos_II.pdf?sequence=1)
- [23] Escoda Salvador. (2012 Noviembre 23). Clasificación de los ventiladores. [En línea]. Disponible en: <http://www.salvadorescoda.com/tecnico/ve/Manual-Ventilacion.pdf>
- [24] Cam York Industrial. (2011). CYT210-AC Centrifugal Blower. [En línea]. Disponible en: [http://www.blower.com.tw/es\\_pdc\\_cyt.htm](http://www.blower.com.tw/es_pdc_cyt.htm)

- [25] Tre C. (2010). Resistencias Eléctricas Tubulares (Lisas) para Aire. [En línea]. Disponible en: <http://www.resistencias-electricas.com/productos/aire/resistencias-blindadas-lisas-y-aletadas/resistencias-tubulareslisas/>
- [26] Maxdetect. (2013). Sensor digital de temperatura y humedad RHT03. [En línea]. Disponible en: <http://www.humiditycn.com/pic/20135318405067570.pdf>
- [27] Arduino Mega2560 R3. (2013). Overview. [En línea]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [28] Alex TC. (2011 Julio 1). Pantalla serial LCD 128x64. [En línea]. Disponible en: <http://blog.bricogeek.com/noticias/tutoriales/tutorial-arduino-pantalla-serial-lcd-128x64/>
- [29] V. García. (2009 Septiembre 11). Serial Real Time Clock DS1307. [En línea]. Disponible en: [http://hispavila.com/3ds/atmega/descargas/rtc\\_ds1307.pdf](http://hispavila.com/3ds/atmega/descargas rtc_ds1307.pdf)
- [30] J. Corrales Ramón. (2011). Sistema de monitorización de tiempo mediante Arduino. [En línea]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19253/1/practica4.pdf>
- [31] G. Acosta. (2006). El controlador basado en lógica difusa. [En línea]. Disponible en: [http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/op\\_nn%26fl/taller.pdf](http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/op_nn%26fl/taller.pdf)

## TESIS

- D. Carrillo Reveles. (2008). *Automatización de un invernadero con el PLC S7-200*. Tesis de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Universidad Autónoma de Zacatecas.
- J. Muñoz Solarte. (2012). *Automatización de un invernadero en clima templado*. Tesis de Ingeniería en Electrónica, Universidad San Buenaventura.
- M. Carrillo Millares. (2011). *Sistema digital potenciador del desarrollo de especímenes en el área de la floricultura: Orquídeas*. Tesis de Ingeniería en Instrumentación Electrónica, Universidad Veracruzana.
- P. Mantilla Paredes. (2008). *Monitoreo y control de temperatura ambiental y humedad del suelo en un invernadero de tomate de riñón utilizando comunicación*

*inalámbrica*. Tesis de Ingeniería en Electrónica y Control, Escuela Politécnica Nacional.

- A. Dávila Montenegro. (2013). *Diseño y construcción de un control difuso de lazo cerrado de temperatura mediante el microcontrolador 18F452 para los laboratorios de teoría de control de la Universidad Politécnica Salesiana*. Tesis de Ingeniería en Electrónica, Escuela Politécnica Salesiana.
- J. Idrovo Villagrán. (2009). *Diseño e implementación de un sistema de entrenamiento para control de nivel de tanques acoplados utilizando lógica difusa*. Tesis de Ingeniería en Electrónica Automatización y Control, Escuela Politécnica del Ejército.

## LIBROS

- N. Castilla Prados. (2005). *Invernaderos de Plástico: Tecnología y Manejo, 1ra Edición*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
- T. Bustos Cordero. (2005). *Ecuador: Patria de Orquídeas (Loja y Zamora Chinchipe)*. Loja. Editorial de la Universidad Técnica Particular de Loja.
- M. Margolis. (2011). *Arduino CookBook, 1ra Edición*. Estados Unidos de América. Oreilly.
- A. Joseph Macintyre. (1990). *Ventilación industrial y control de contaminación (versión portuguesa), 1ra Edición*. Brasil. LTC.
- Leonid Reznik. (1997). *Fuzzy Controllers, 1ra Edición*. Australia. Newnes.
- Jan Jantzen. (2007). *Foundations of fuzzy control, 1ra Edición*. Inglaterra. Wiley.
- A. Sobrino. S. Barro. (1993). *Estudios de lógica borrosa y sus aplicaciones*. Santiago de Compostela. Editorial de la Universidad de Santiago de Compostela.
- E. Trillas. J. Gutiérrez. (1992). *Aplicaciones de la lógica borrosa. 1ra Edición*. España. CSIC.

## k. ANEXOS

### Anexo 1: Características generales del invernadero de orquídeas

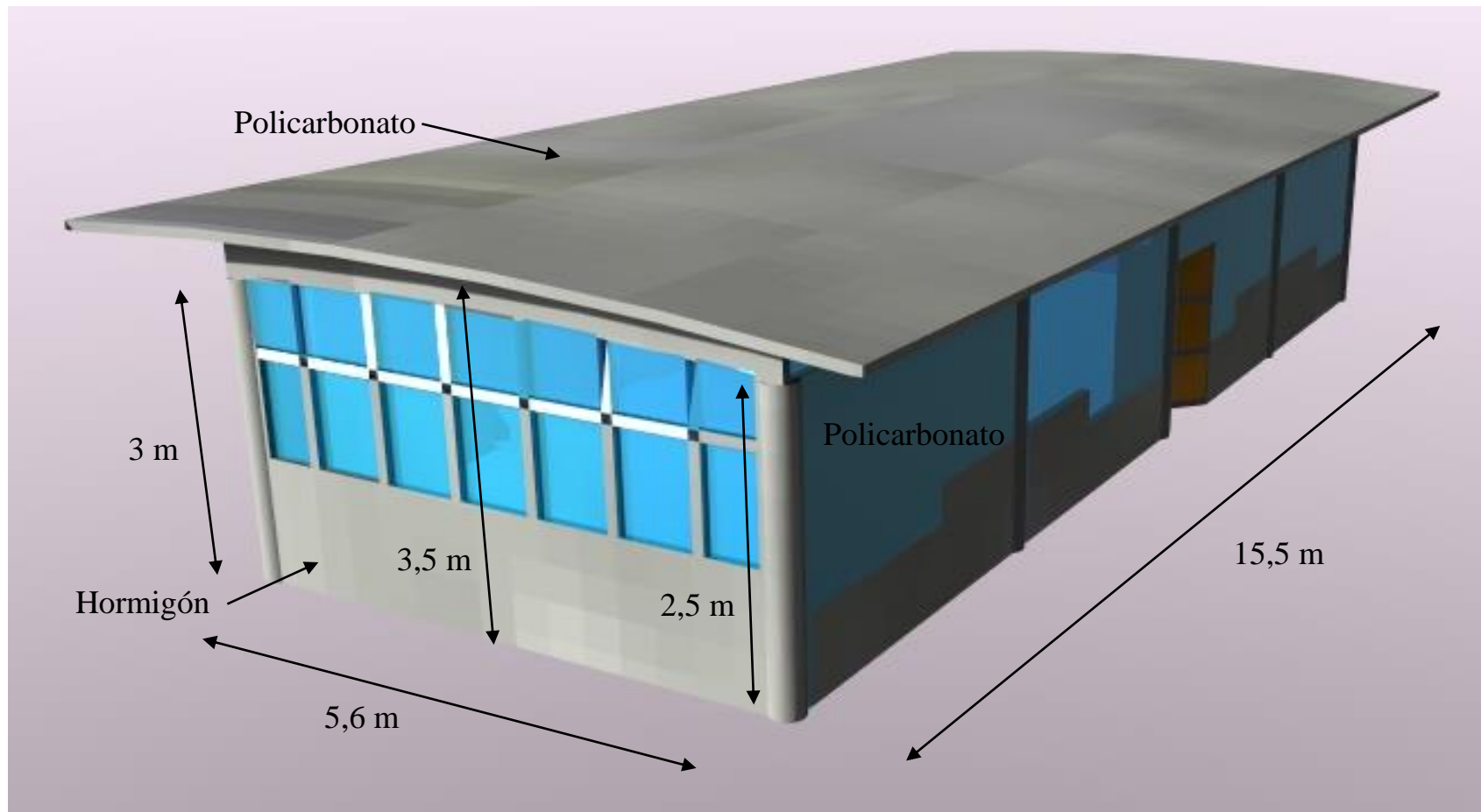


Figura 84. Características generales del invernadero de orquídeas.

## Anexo 2: Propiedades del aire

### *Calor específico, viscosidad y densidad (peso) del aire a diferentes temperaturas y presiones*

Temp del Aire (°F)	Calor especí- fico (Btu/ Lbs/°F)	Viscosidad absoluta (Lbs/ Ft/Hr)	Presión indicada en lbs/plg² (basado en presión atmosférica absoluta de 14.7 lbs/plg² al nivel del mar)														
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	150	200	250	300
			Densidad (peso) en lbs/plg³														
-20	0.239	0.039	0.0900	0.152	0.213	0.274	0.336	0.397	0.458	0.519	0.580	0.702	0.825	1.010	1.318	1.625	1.934
-10	0.239	0.039	0.0882	0.149	0.209	0.268	0.328	0.388	0.448	0.508	0.567	0.687	0.807	0.989	1.288	1.588	1.890
0	0.239	0.040	0.0864	0.146	0.204	0.263	0.322	0.380	0.438	0.497	0.556	0.672	0.790	0.968	1.260	1.553	1.850
10	0.239	0.040	0.0846	0.143	0.199	0.257	0.315	0.372	0.429	0.486	0.543	0.658	0.774	0.947	1.233	1.520	1.810
20	0.239	0.041	0.0828	0.140	0.196	0.252	0.307	0.365	0.421	0.477	0.533	0.645	0.757	0.927	1.208	1.489	1.770
30	0.240	0.041	0.0811	0.137	0.192	0.247	0.302	0.357	0.412	0.467	0.522	0.632	0.742	0.908	1.184	1.460	1.730
40	0.240	0.042	0.0795	0.134	0.188	0.242	0.295	0.350	0.404	0.458	0.511	0.619	0.727	0.890	1.161	1.431	1.705
50	0.240	0.042	0.0780	0.131	0.184	0.237	0.291	0.343	0.396	0.449	0.501	0.607	0.713	0.873	1.139	1.403	1.661
60	0.240	0.043	0.0764	0.128	0.180	0.232	0.284	0.336	0.388	0.440	0.493	0.596	0.700	0.856	1.116	1.376	1.638
70	0.240	0.044	0.0750	0.126	0.177	0.228	0.279	0.330	0.381	0.432	0.482	0.584	0.686	0.839	1.095	1.350	1.604
80	0.240	0.045	0.0736	0.124	0.174	0.224	0.274	0.324	0.374	0.423	0.473	0.572	0.673	0.824	1.074	1.325	1.573
90	0.240	0.045	0.0723	0.122	0.171	0.220	0.269	0.318	0.367	0.415	0.464	0.561	0.660	0.809	1.054	1.300	1.546
100	0.240	0.046	0.0710	0.120	0.168	0.215	0.264	0.312	0.360	0.408	0.455	0.551	0.648	0.794	1.035	1.276	1.517
120	0.240	0.047	0.0686	0.116	0.162	0.208	0.255	0.302	0.348	0.394	0.440	0.533	0.626	0.767	1.001	1.234	1.465
150	0.241	0.049	0.0652	0.110	0.154	0.199	0.243	0.287	0.331	0.375	0.419	0.508	0.596	0.730	0.953	1.175	1.392
175	0.241	0.051	0.0626	0.105	0.148	0.191	0.234	0.275	0.318	0.361	0.403	0.488	0.573	0.701	0.914	1.128	1.337
200	0.241	0.052	0.0603	0.101	0.143	0.184	0.225	0.266	0.305	0.347	0.388	0.470	0.552	0.674	0.879	1.084	1.287
250	0.242	0.055	0.0560	0.094	0.132	0.171	0.208	0.247	0.285	0.322	0.360	0.436	0.513	0.627	0.817	1.007	1.197
300	0.243	0.058	0.0523	0.088	0.124	0.159	0.195	0.230	0.265	0.301	0.336	0.407	0.478	0.585	0.762	0.940	1.118
350	0.244	0.060	0.0491	0.083	0.116	0.150	0.184	0.216	0.249	0.282	0.316	0.382	0.449	0.549	0.715	0.883	1.048
400	0.245	0.063	0.0463	0.078	0.109	0.140	0.172	0.203	0.235	0.266	0.298	0.360	0.423	0.517	0.674	0.831	0.987
500	0.248	0.067	0.0414	0.067	0.098	0.126	0.154	0.182	0.210	0.238	0.266	0.322	0.379	0.463	0.604	0.746	0.885
600	0.25	0.072	0.0376	0.063	0.089	0.114	0.140	0.165	0.190	0.216	0.241	0.292	0.343	0.419	0.547	0.675	0.801
700	0.254	0.076	0.0341	0.058	0.081	0.104	0.127	0.151	0.174	0.198	0.221	0.267	0.328	0.383	0.500	0.616	0.733
800	0.257	0.080	0.0314	0.053	0.071	0.096	0.117	0.139	0.160	0.181	0.203	0.246	0.314	0.353	0.460	0.568	0.675
900	0.259	0.085	0.0295	0.049	0.069	0.089	0.109	0.129	0.148	0.168	0.188	0.228	0.289	0.327	0.427	0.526	0.625
1000	0.262	0.089	0.0275	0.046	0.064	0.083	0.101	0.120	0.138	0.157	0.175	0.212	0.268	0.304	0.397	0.490	0.582

Figura 85. Propiedades del aire.

## Anexo 3: Pruebas de los actuadores

### Pruebas del sistema de calefacción

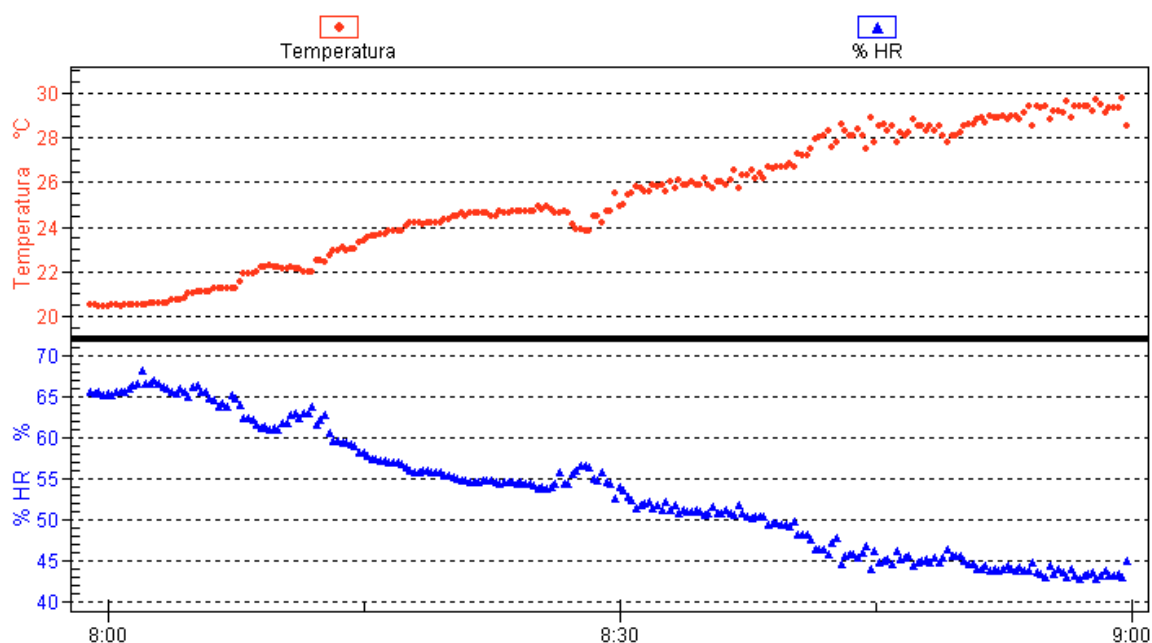


Figura 86. Sistema de calefacción "Prueba 1".

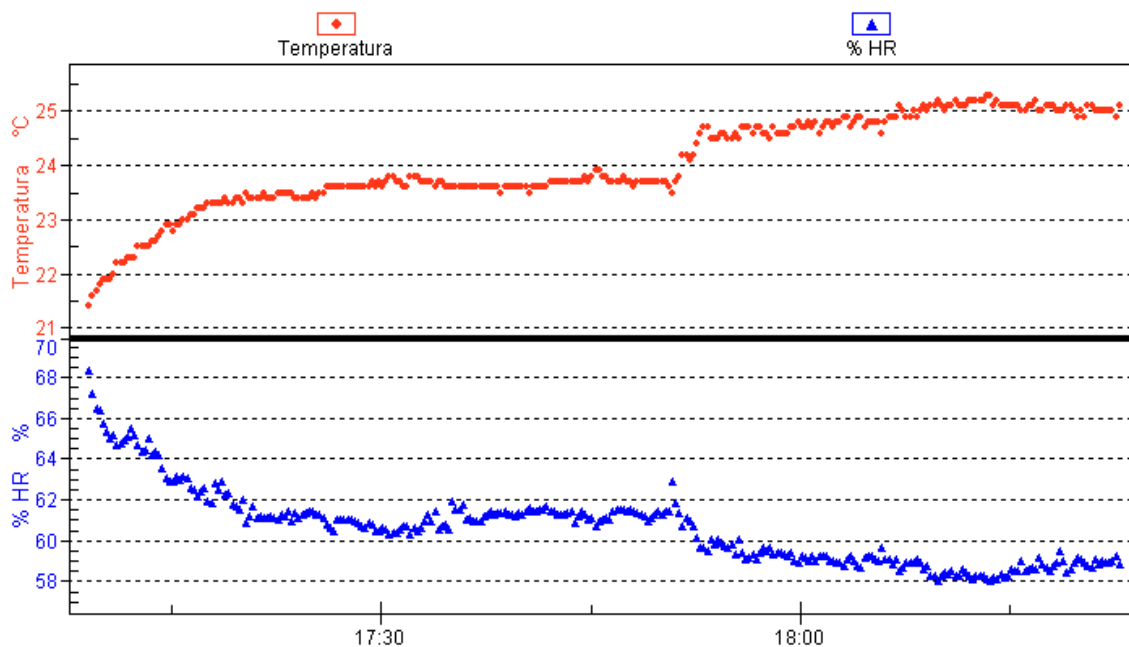


Figura 87. Sistema de calefacción "Prueba 2".

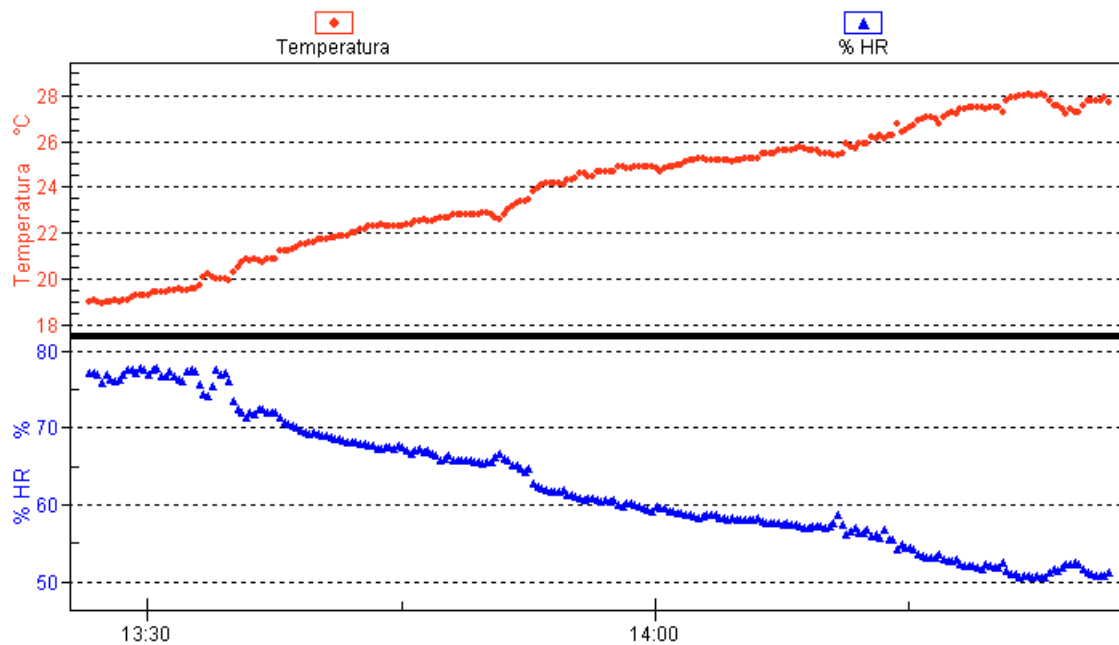


Figura 88. Sistema de calefacción "Prueba 3".

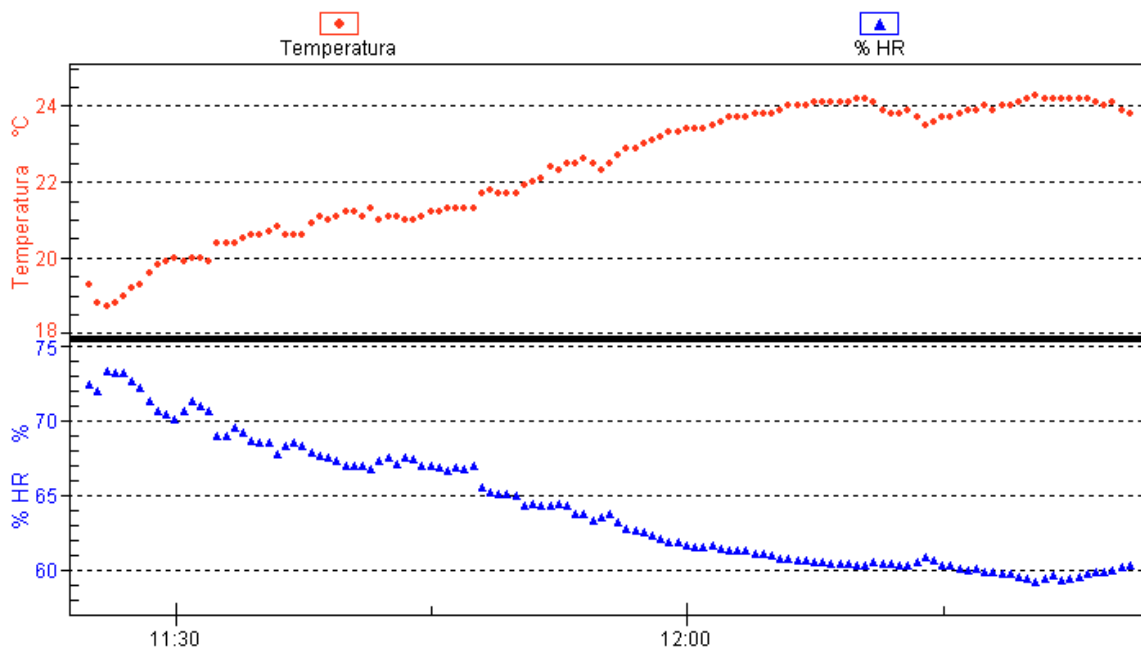


Figura 89. Sistema de calefacción "Prueba 4".

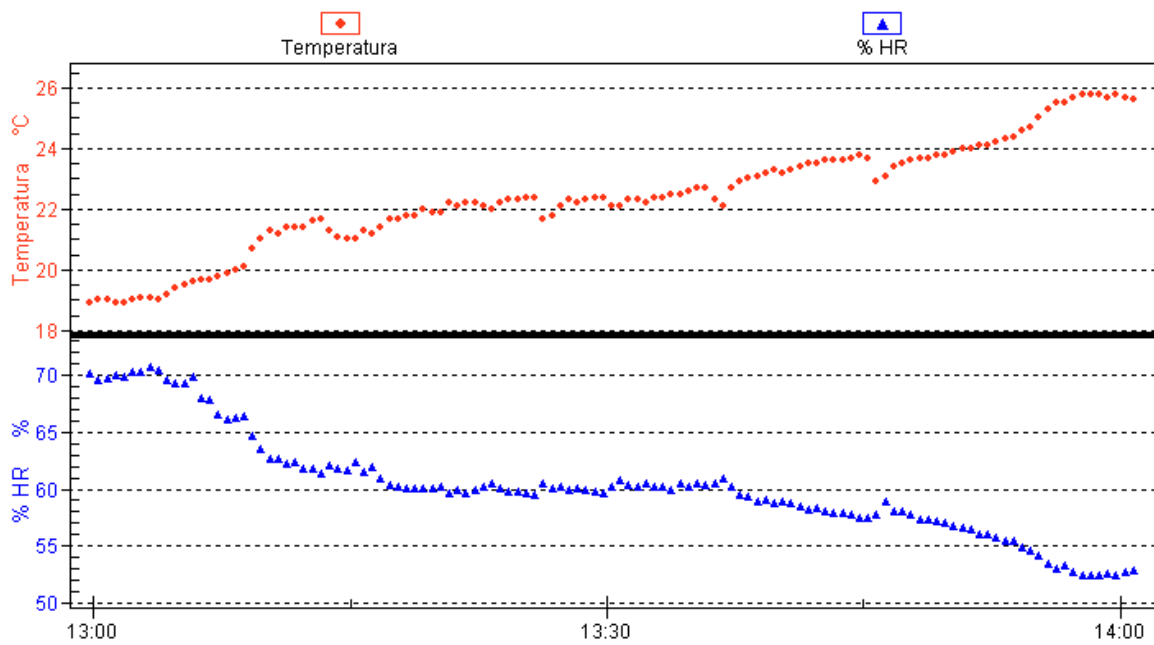


Figura 90. Sistema de calefacción "Prueba 5".

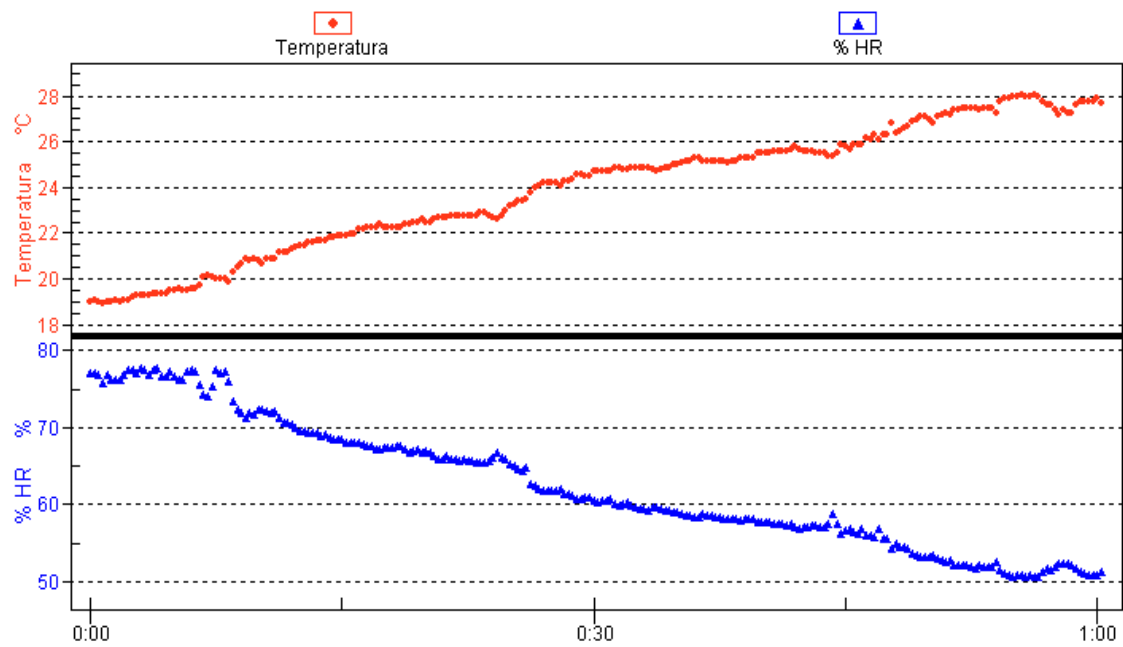


Figura 91. Sistema de calefacción "Prueba 6".



## Pruebas del sistema de nebulización

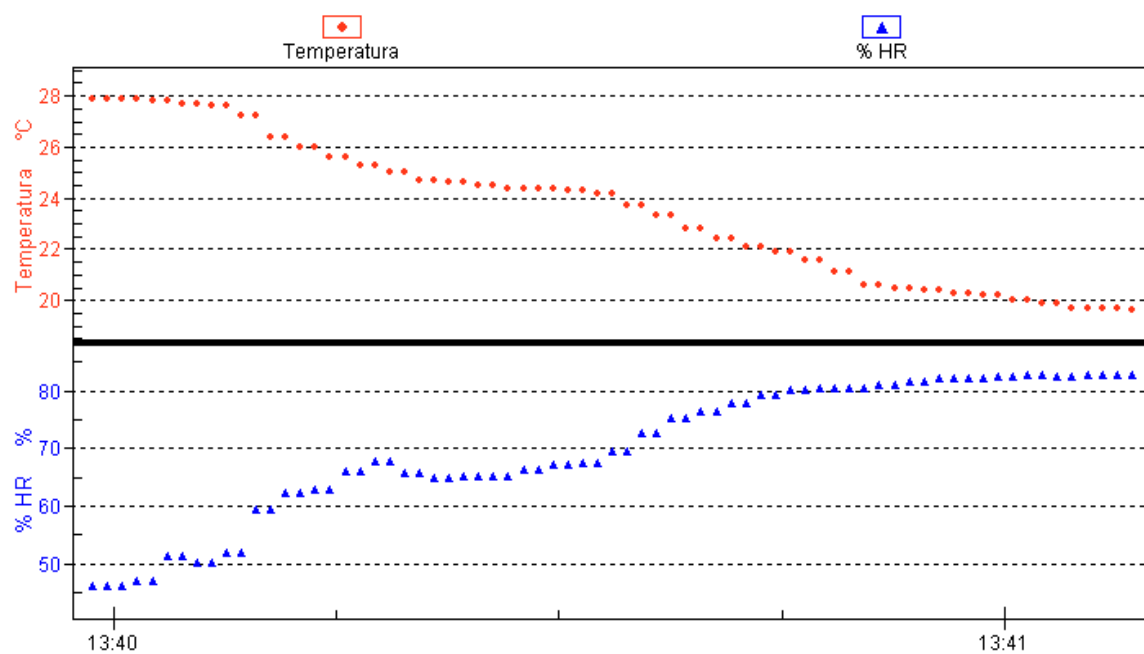


Figura 92. Sistema de nebulización "Prueba 1".

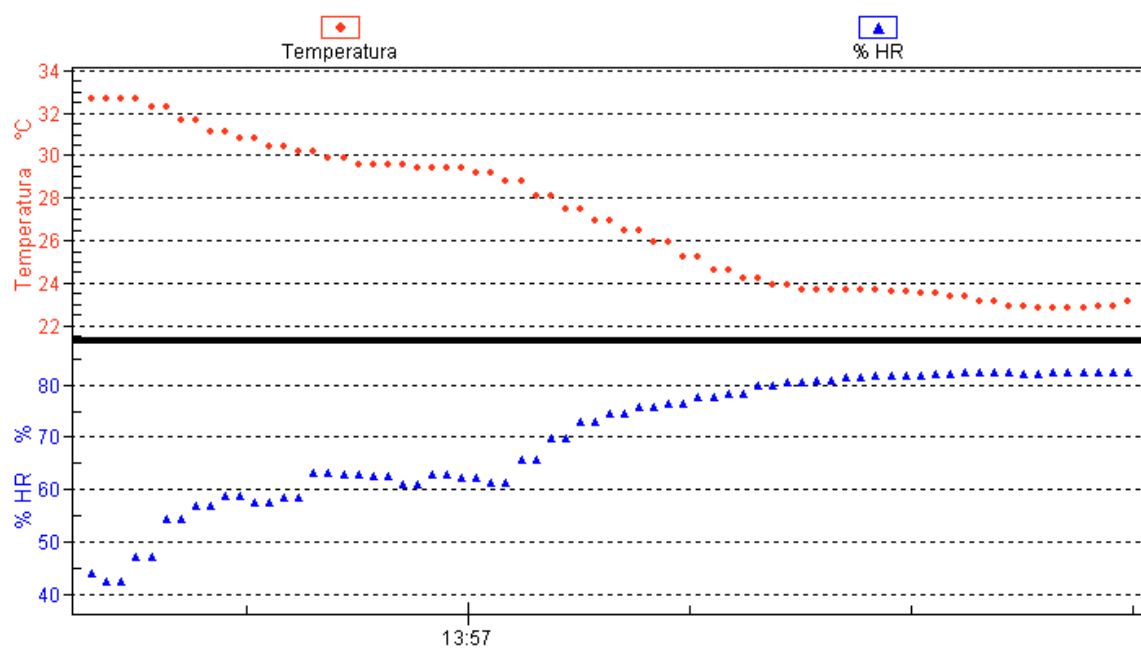
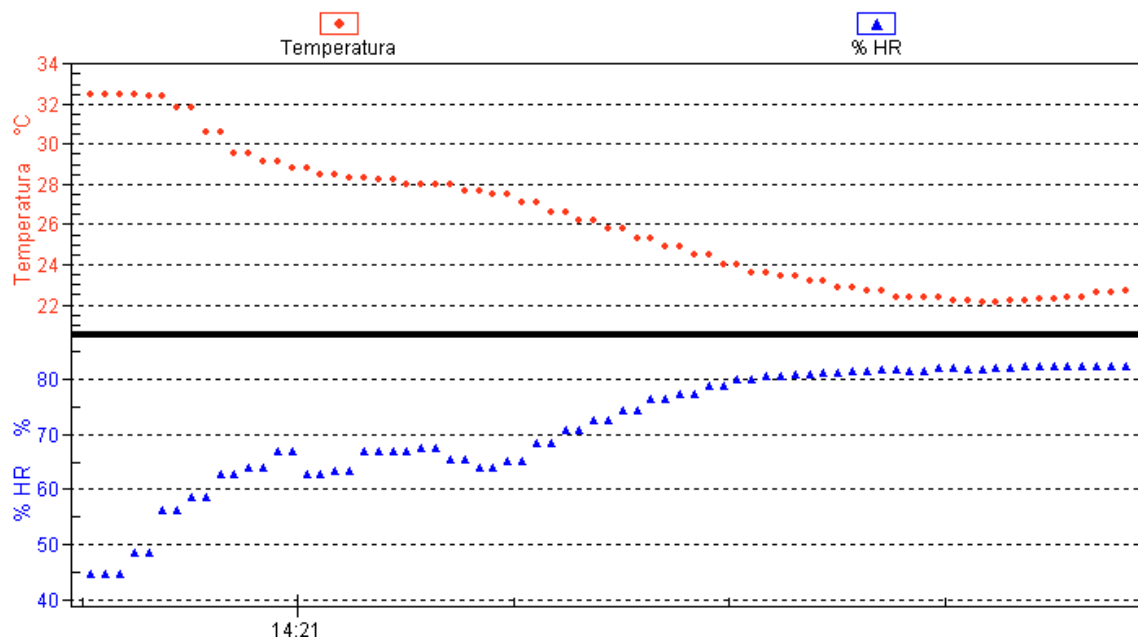


Figura 93. Sistema de nebulización "Prueba 2".



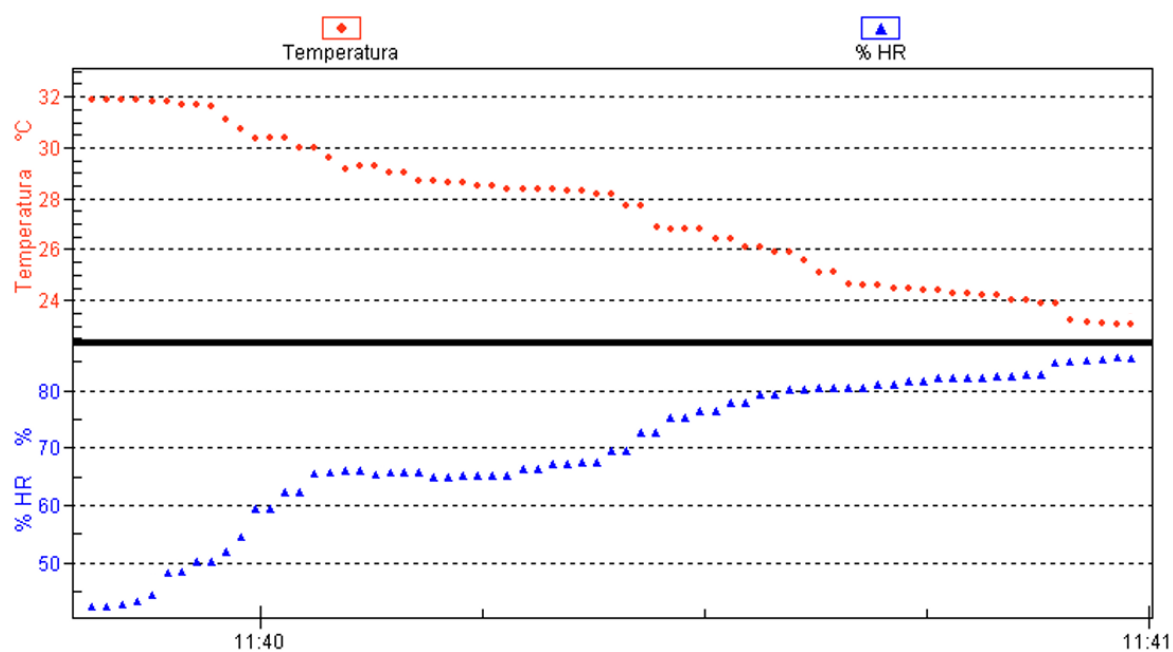


Figura 96. Sistema de nebulización "Prueba 5".

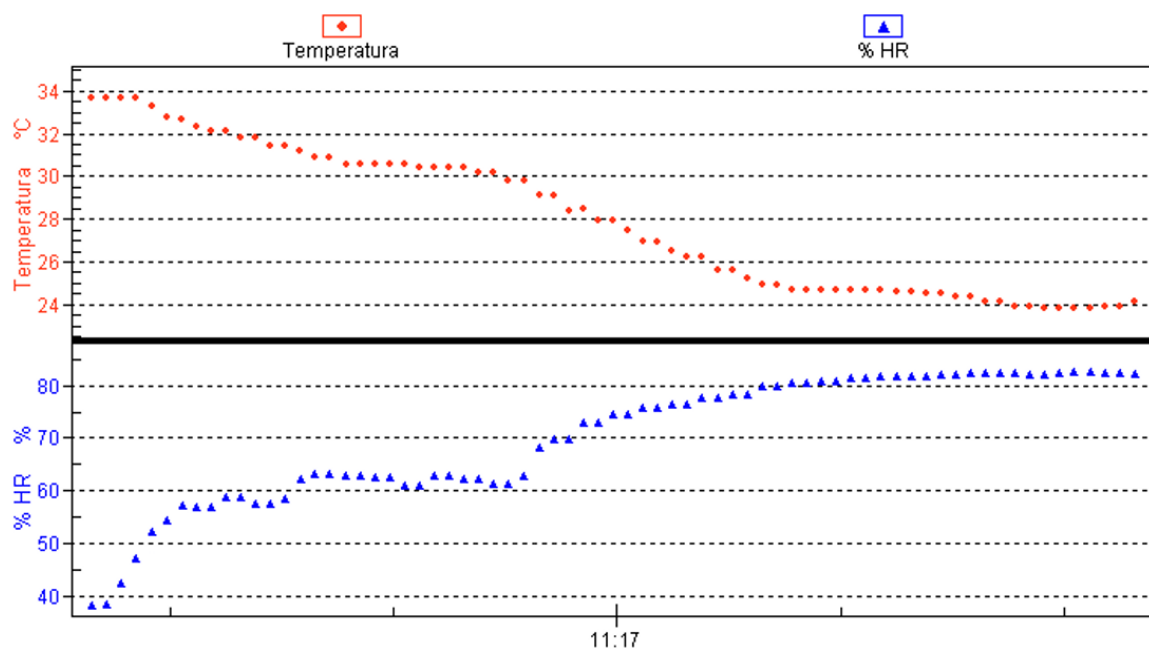
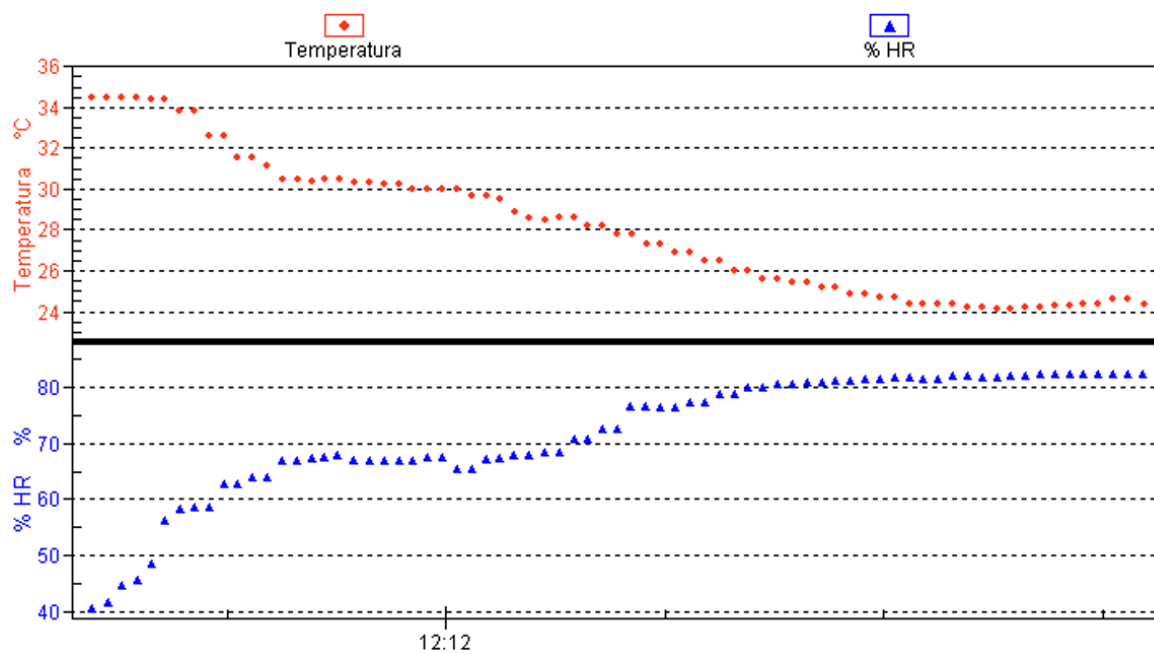


Figura 97. Sistema de nebulización "Prueba 6".



## Anexo 4: Plan de mantenimiento

### PLAN DE MANTENIMIENTO

#### SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DEL INVERNADERO DE ORQUÍDEAS DEL JARDÍN BOTÁNICO REINALDO ESPINOSA

##### Encendido del sistema de control.

1. Establecer los breakers (F1. Ventilador centrífugo, F2. Ventilador centrífugo, F1. Resistencias calefactoras, F2 Resistencias calefactoras, tomas de corriente e iluminaria) en modo ON. Ver figura 100.
2. Verificar que todos los enchufes de los actuadores (ventilador inyector, extractores y electrobomba) estén conectados en el supresor de picos. Ver figura 101.
3. Verificar que la fuente de alimentación de Arduino esté conectada en el supresor de picos.
4. Establecer en modo ON el switch de la regleta.

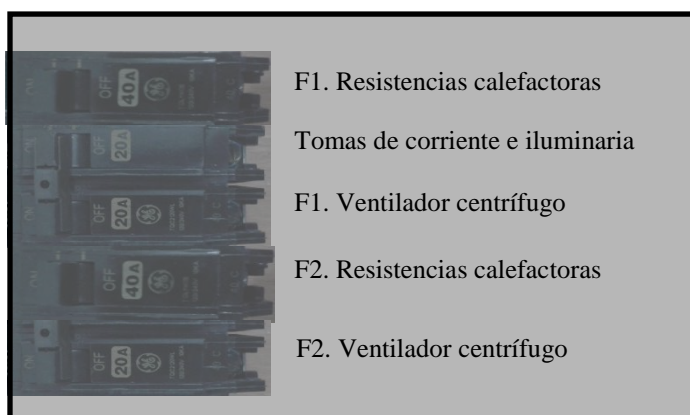
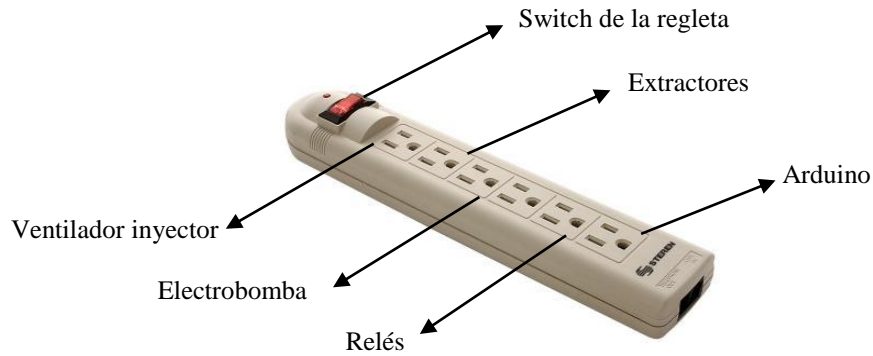


Figura 100. Caja de breakers.



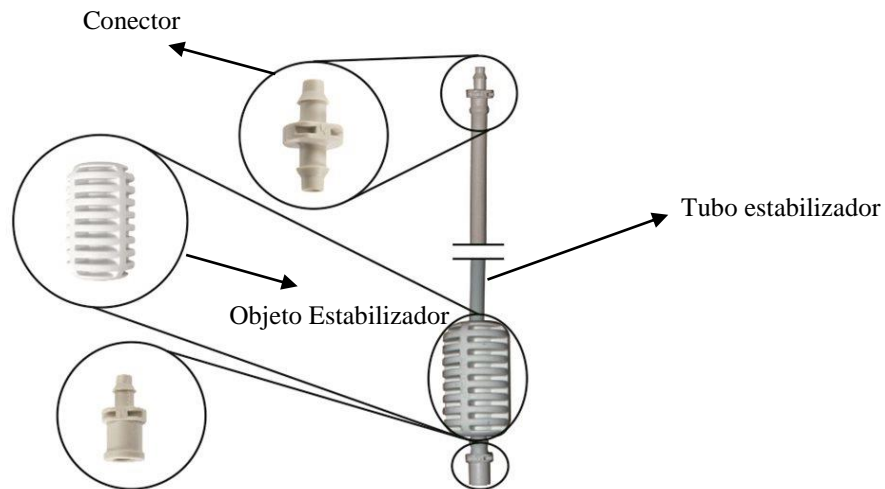
**Figura 101. Supresor de picos.**

### **Apagado del sistema de control.**

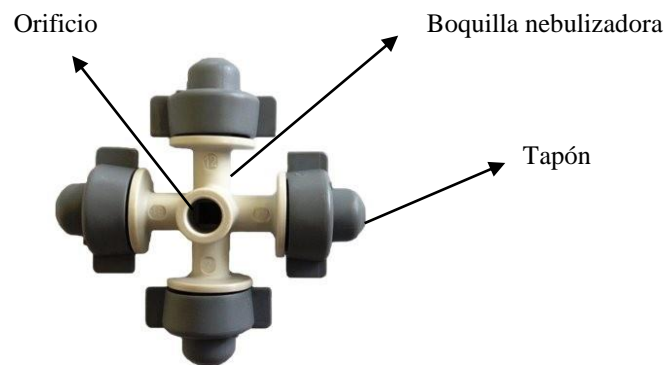
1. Establecer en modo OFF el switch del supresor de picos.
2. Establecer los breakers (F1. Ventilador centrífugo, F2. Ventilador centrífugo, F1. Resistencias calefactoras, F2 Resistencias calefactoras) en modo OFF.

### **Limpieza de las boquillas nebulizadoras en caso de obstrucción**

1. Desmontar la boquilla nebulizadora del estabilizador. Ver figura 102.
2. Girar a la izquierda el tapón de la boquilla nebulizadora y extraerla. Ver figura 103.
3. Inyectar aire por cada uno de los orificios de la boquilla nebulizadora incluido el tapón.
4. Unir todos los elementos y conectar el nebulizador en el tubo estabilizador.



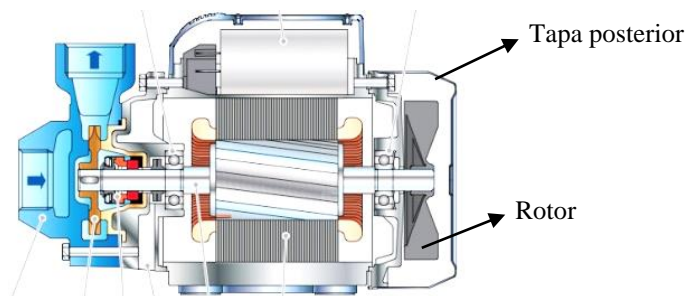
**Figura 102. Estabilizador.**



**Figura 103. Boquilla nebulizadora.**

#### **No activación de las boquillas nebulizadoras.**

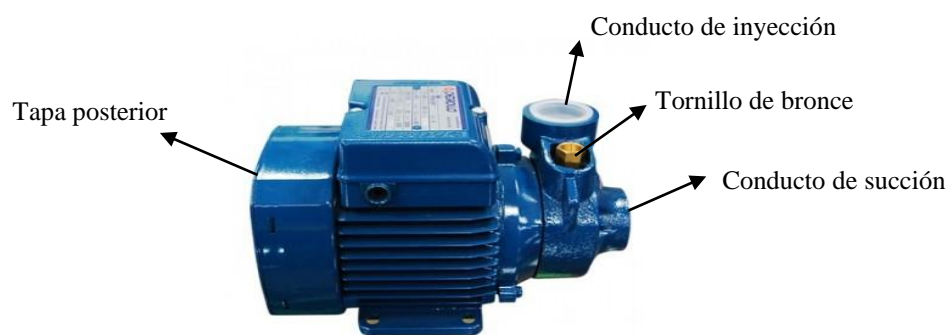
1. Revisar la fuente de alimentación de la electrobomba.
2. Si el inciso 1 se cumple, revisar el nivel de agua del tanque que este sobre el nivel de la bomba.
3. Si el inciso 2 se cumple, desmontar la placa posterior de la electrobomba. Ver figura 104.
4. Girar manualmente el rotor al menos 10 veces.



**Figura 104. Parte posterior electrobomba PKm60.**

### **Limpieza de tanque y cebado de electrobomba.**

1. Desmontar la electrobomba del tanque reservorio de agua.
2. Limpiar el tanque y montar nuevamente la electrobomba.
3. Llenar el tanque hasta alcanzar el nivel de la electrobomba.
4. Retirar el tornillo de bronce con una llave de 9/16". Ver figura 105.
5. Verter agua lentamente sobre el orificio del tornillo hasta que se llene y colocar nuevamente el tornillo.
6. Llenar completamente el tanque.
7. Encender la electrobomba.



**Figura 105. Cebado de la electrobomba PKm60.**



## Anexo 5: Registro de datos del sistema de control

### Ensayo 1

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
22,1 °C	70,0 %	08/04/2014	10:22:37
21,7 °C	67,9 %	08/04/2014	10:32:37
21,7 °C	67,3 %	08/04/2014	10:42:37
21,3 °C	70,0 %	08/04/2014	10:52:37
21,8 °C	67,1 %	08/04/2014	11:02:37
21,6 °C	68,1 %	08/04/2014	11:12:37
21,1 °C	68,8 %	08/04/2014	11:22:37
21,4 °C	67,4 %	08/04/2014	11:32:37
21,4 °C	68,1 %	08/04/2014	11:42:37
20,8 °C	69,1 %	08/04/2014	11:52:37
21,7 °C	65,1 %	08/04/2014	12:02:37
21,4 °C	65,8 %	08/04/2014	12:12:37
21,2 °C	67,4 %	08/04/2014	12:22:37
22,9 °C	63,3 %	08/04/2014	12:32:37
20,1 °C	74,2 %	08/04/2014	12:42:37
22,5 °C	64,8 %	08/04/2014	12:52:37
20,0 °C	72,4 %	08/04/2014	13:02:37
22,3 °C	64,5 %	08/04/2014	13:12:37
21,2 °C	69,5 %	08/04/2014	13:22:37
20,1 °C	72,2 %	08/04/2014	13:32:37
21,9 °C	67,5 %	08/04/2014	13:42:37
21,9 °C	64,9 %	08/04/2014	13:52:37
21,1 °C	70,4 %	08/04/2014	14:02:37
22,5 °C	66,2 %	08/04/2014	14:12:37
20,9 °C	70,8 %	08/04/2014	14:22:37
22,3 °C	66,7 %	08/04/2014	14:32:37
21,2 °C	69,5 %	08/04/2014	14:42:37
22,8 °C	65,4 %	08/04/2014	14:52:37
20,6 °C	70,8 %	08/04/2014	15:02:37
21,4 °C	68,3 %	08/04/2014	15:12:37
21,4 °C	69,0 %	08/04/2014	15:22:37
20,8 °C	69,0 %	08/04/2014	15:32:37
21,9 °C	65,3 %	08/04/2014	15:42:37
21,2 °C	66,8 %	08/04/2014	15:52:37
21,4 °C	68,7 %	08/04/2014	16:02:37
21,8 °C	66,1 %	08/04/2014	16:12:37
20,9 °C	68,5 %	08/04/2014	16:22:37
21,4 °C	64,7 %	08/04/2014	16:32:37
21,0 °C	66,5 %	08/04/2014	16:42:37
20,4 °C	68,8 %	08/04/2014	16:52:37
20,9 °C	67,5 %	08/04/2014	17:02:37
21,0 °C	67,7 %	08/04/2014	17:12:37
21,0 °C	68,0 %	08/04/2014	17:22:37
20,4 °C	70,4 %	08/04/2014	17:32:37

20,4 °C	70,6 %	08/04/2014	17:42:37
20,3 °C	70,0 %	08/04/2014	17:52:37
20,3 °C	69,7 %	08/04/2014	18:02:37
19,6 °C	72,2 %	08/04/2014	18:12:37
19,7 °C	71,6 %	08/04/2014	18:22:37
19,5 °C	72,0 %	08/04/2014	18:32:37
19,3 °C	72,3 %	08/04/2014	18:42:37
19,6 °C	72,1 %	08/04/2014	18:52:37
18,8 °C	73,8 %	08/04/2014	19:02:37
20,2 °C	69,6 %	08/04/2014	19:12:37
19,0 °C	74,5 %	08/04/2014	19:22:37
19,5 °C	72,2 %	08/04/2014	19:32:37
19,3 °C	73,3 %	08/04/2014	19:42:37
19,1 °C	73,9 %	08/04/2014	19:52:37
19,5 °C	72,7 %	08/04/2014	20:02:37
18,7 °C	75,2 %	08/04/2014	20:12:37
19,7 °C	72,0 %	08/04/2014	20:22:37
19,1 °C	73,8 %	08/04/2014	20:32:37
18,9 °C	73,5 %	08/04/2014	20:42:37
19,8 °C	71,2 %	08/04/2014	20:52:37
18,8 °C	74,8 %	08/04/2014	21:02:37
19,4 °C	72,3 %	08/04/2014	21:12:37
19,7 °C	71,8 %	08/04/2014	21:22:37
19,2 °C	73,2 %	08/04/2014	21:32:37
19,6 °C	71,5 %	08/04/2014	21:42:37
18,7 °C	74,9 %	08/04/2014	21:52:37
19,6 °C	71,2 %	08/04/2014	22:02:37
19,5 °C	72,0 %	08/04/2014	22:12:37
18,9 °C	73,2 %	08/04/2014	22:22:37
19,6 °C	70,4 %	08/04/2014	22:32:37
19,0 °C	72,0 %	08/04/2014	22:42:37
19,1 °C	72,0 %	08/04/2014	22:52:37
19,7 °C	70,0 %	08/04/2014	23:02:37
18,9 °C	70,7 %	08/04/2014	23:12:37
18,5 °C	71,2 %	08/04/2014	23:22:37
19,6 °C	68,0 %	08/04/2014	23:32:37
18,7 °C	71,9 %	08/04/2014	23:42:37
19,0 °C	71,7 %	08/04/2014	23:52:37
19,9 °C	68,9 %	09/04/2014	0:02:37
18,9 °C	72,8 %	09/04/2014	0:12:37
19,3 °C	71,1 %	09/04/2014	0:22:37
19,1 °C	72,4 %	09/04/2014	0:32:37
19,0 °C	72,9 %	09/04/2014	0:42:37
20,1 °C	69,7 %	09/04/2014	0:52:37
19,0 °C	73,6 %	09/04/2014	1:02:37
19,6 °C	71,1 %	09/04/2014	1:12:37
19,2 °C	72,7 %	09/04/2014	1:22:37
19,0 °C	73,6 %	09/04/2014	1:32:37
19,6 °C	71,2 %	09/04/2014	1:42:37
18,7 °C	74,8 %	09/04/2014	1:52:37
19,6 °C	71,0 %	09/04/2014	2:02:37

19,2 °C	72,9 %	09/04/2014	2:12:37
18,8 °C	74,4 %	09/04/2014	2:22:37
20,2 °C	69,0 %	09/04/2014	2:32:37
19,1 °C	72,7 %	09/04/2014	2:42:37
19,0 °C	72,5 %	09/04/2014	2:52:37
19,3 °C	71,8 %	09/04/2014	3:02:37
18,5 °C	74,5 %	09/04/2014	3:12:37
19,2 °C	71,9 %	09/04/2014	3:22:37
19,1 °C	72,0 %	09/04/2014	3:32:37
18,4 °C	73,7 %	09/04/2014	3:42:37
19,3 °C	70,6 %	09/04/2014	3:52:37
18,9 °C	72,4 %	09/04/2014	4:02:37
18,6 °C	73,6 %	09/04/2014	4:12:37
19,6 °C	70,0 %	09/04/2014	4:22:37
18,9 °C	72,8 %	09/04/2014	4:32:37
18,9 °C	72,8 %	09/04/2014	4:42:37
19,8 °C	69,5 %	09/04/2014	4:52:37
18,9 °C	72,8 %	09/04/2014	5:02:37
19,2 °C	71,6 %	09/04/2014	5:12:37
19,3 °C	71,5 %	09/04/2014	5:22:37
18,9 °C	72,8 %	09/04/2014	5:32:37
19,3 °C	71,0 %	09/04/2014	5:42:37
19,2 °C	71,6 %	09/04/2014	5:52:37
18,4 °C	74,2 %	09/04/2014	6:02:37
19,2 °C	71,2 %	09/04/2014	6:12:37
19,6 °C	69,7 %	09/04/2014	6:22:37
18,5 °C	73,1 %	09/04/2014	6:32:37
19,2 °C	70,7 %	09/04/2014	6:42:37
19,0 °C	71,4 %	09/04/2014	6:52:37
18,5 °C	73,0 %	09/04/2014	7:02:37
19,2 °C	70,5 %	09/04/2014	7:12:37
19,9 °C	68,2 %	09/04/2014	7:22:37
19,8 °C	68,5 %	09/04/2014	7:32:37
19,8 °C	68,6 %	09/04/2014	7:42:37
19,9 °C	68,4 %	09/04/2014	7:52:37
19,8 °C	68,3 %	09/04/2014	8:02:37
20,4 °C	66,7 %	09/04/2014	8:12:37
20,0 °C	67,8 %	09/04/2014	8:22:37
20,1 °C	67,9 %	09/04/2014	8:32:37
20,1 °C	68,2 %	09/04/2014	8:42:37
20,1 °C	68,3 %	09/04/2014	8:52:37
19,9 °C	69,0 %	09/04/2014	9:02:37
20,1 °C	68,2 %	09/04/2014	9:12:37
20,1 °C	68,7 %	09/04/2014	9:22:37
20,0 °C	68,2 %	09/04/2014	9:32:37
20,5 °C	67,1 %	09/04/2014	9:42:37
20,6 °C	67,3 %	09/04/2014	9:52:37
20,5 °C	67,5 %	09/04/2014	10:02:37
20,6 °C	67,7 %	09/04/2014	10:12:37
20,0 °C	69,4 %	09/04/2014	10:22:37

## Ensayo 2

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
22,1 °C	71,5 %	09/04/2014	10:47:58
21,3 °C	65,2 %	09/04/2014	10:57:58
21,2 °C	64,6 %	09/04/2014	11:07:58
21,6 °C	70,0 %	09/04/2014	11:17:58
21,8 °C	68,9 %	09/04/2014	11:27:58
21,1 °C	68,0 %	09/04/2014	11:37:58
21,7 °C	68,9 %	09/04/2014	11:47:58
21,0 °C	67,0 %	09/04/2014	11:57:58
21,8 °C	65,1 %	09/04/2014	12:07:58
21,2 °C	67,2 %	09/04/2014	12:17:58
20,9 °C	67,9 %	09/04/2014	12:27:58
20,7 °C	75,1 %	09/04/2014	12:37:58
21,3 °C	70,8 %	09/04/2014	12:47:58
21,0 °C	71,3 %	09/04/2014	12:57:58
21,3 °C	68,9 %	09/04/2014	13:07:58
22,2 °C	66,7 %	09/04/2014	13:17:58
21,3 °C	67,8 %	09/04/2014	13:27:58
22,7 °C	65,0 %	09/04/2014	13:37:58
20,9 °C	72,5 %	09/04/2014	13:47:58
21,3 °C	68,9 %	09/04/2014	13:57:58
21,7 °C	66,7 %	09/04/2014	14:07:58
21,0 °C	70,0 %	09/04/2014	14:17:58
21,9 °C	66,8 %	09/04/2014	14:27:58
22,1 °C	67,2 %	09/04/2014	14:37:58
22,1 °C	66,7 %	09/04/2014	14:47:58
22,2 °C	66,3 %	09/04/2014	14:57:58
21,7 °C	68,8 %	09/04/2014	15:07:58
20,9 °C	74,4 %	09/04/2014	15:17:58
21,9 °C	67,9 %	09/04/2014	15:27:58
21,0 °C	70,4 %	09/04/2014	15:37:58
21,9 °C	66,7 %	09/04/2014	15:47:58
21,5 °C	69,0 %	09/04/2014	15:57:58
21,3 °C	68,0 %	09/04/2014	16:07:58
22,5 °C	65,5 %	09/04/2014	16:17:58
21,0 °C	70,7 %	09/04/2014	16:27:58
21,6 °C	67,7 %	09/04/2014	16:37:58
20,9 °C	69,6 %	09/04/2014	16:47:58
20,9 °C	71,4 %	09/04/2014	16:57:58
21,5 °C	68,3 %	09/04/2014	17:07:58
21,5 °C	67,0 %	09/04/2014	17:17:58
21,1 °C	68,2 %	09/04/2014	17:27:58
20,7 °C	69,1 %	09/04/2014	17:37:58
20,6 °C	69,9 %	09/04/2014	17:47:58
21,0 °C	67,7 %	09/04/2014	17:57:58
20,5 °C	69,5 %	09/04/2014	18:07:58
20,1 °C	73,5 %	09/04/2014	18:17:58
19,9 °C	71,9 %	09/04/2014	18:27:58

19,4 °C	72,9 %	09/04/2014	18:37:58
19,9 °C	71,1 %	09/04/2014	18:47:58
19,2 °C	72,8 %	09/04/2014	18:57:58
19,9 °C	70,4 %	09/04/2014	19:07:58
18,8 °C	73,0 %	09/04/2014	19:17:58
20,6 °C	67,5 %	09/04/2014	19:27:58
18,8 °C	73,4 %	09/04/2014	19:37:58
19,8 °C	69,2 %	09/04/2014	19:47:58
19,2 °C	71,1 %	09/04/2014	19:57:58
19,6 °C	69,3 %	09/04/2014	20:07:58
19,4 °C	70,7 %	09/04/2014	20:17:58
19,3 °C	70,8 %	09/04/2014	20:27:58
19,5 °C	69,9 %	09/04/2014	20:37:58
19,0 °C	72,0 %	09/04/2014	20:47:58
20,1 °C	69,0 %	09/04/2014	20:57:58
18,7 °C	73,2 %	09/04/2014	21:07:58
19,4 °C	70,0 %	09/04/2014	21:17:58
19,1 °C	71,9 %	09/04/2014	21:27:58
18,9 °C	71,9 %	09/04/2014	21:37:58
20,2 °C	67,7 %	09/04/2014	21:47:58
18,8 °C	71,5 %	09/04/2014	21:57:58
19,3 °C	69,6 %	09/04/2014	22:07:58
19,4 °C	70,0 %	09/04/2014	22:17:58
18,8 °C	72,2 %	09/04/2014	22:27:58
19,5 °C	69,5 %	09/04/2014	22:37:58
18,8 °C	71,5 %	09/04/2014	22:47:58
19,1 °C	70,2 %	09/04/2014	22:57:58
19,2 °C	70,4 %	09/04/2014	23:07:58
18,6 °C	71,7 %	09/04/2014	23:17:58
19,7 °C	68,6 %	09/04/2014	23:27:58
19,0 °C	71,1 %	09/04/2014	23:37:58
19,1 °C	69,8 %	09/04/2014	23:47:58
19,5 °C	68,1 %	09/04/2014	23:57:58
18,7 °C	70,9 %	10/04/2014	0:07:58
20,1 °C	66,3 %	10/04/2014	0:17:58
18,9 °C	70,2 %	10/04/2014	0:27:58
19,4 °C	68,8 %	10/04/2014	0:37:58
19,4 °C	67,5 %	10/04/2014	0:47:58
18,9 °C	67,4 %	10/04/2014	0:57:58
20,0 °C	64,9 %	10/04/2014	1:07:58
19,1 °C	69,1 %	10/04/2014	1:17:58
19,7 °C	67,5 %	10/04/2014	1:27:58
19,6 °C	67,5 %	10/04/2014	1:37:58
19,2 °C	68,6 %	10/04/2014	1:47:58
19,6 °C	67,3 %	10/04/2014	1:57:58
18,8 °C	70,4 %	10/04/2014	2:07:58
19,6 °C	67,4 %	10/04/2014	2:17:58
19,1 °C	69,6 %	10/04/2014	2:27:58
19,6 °C	66,7 %	10/04/2014	2:37:58
19,3 °C	68,2 %	10/04/2014	2:47:58
19,0 °C	70,0 %	10/04/2014	2:57:58

19,5 °C	68,5 %	10/04/2014	3:07:58
18,7 °C	70,6 %	10/04/2014	3:17:58
19,6 °C	67,3 %	10/04/2014	3:27:58
19,2 °C	68,8 %	10/04/2014	3:37:58
19,1 °C	68,2 %	10/04/2014	3:47:58
20,2 °C	65,2 %	10/04/2014	3:57:58
18,8 °C	69,9 %	10/04/2014	4:07:58
19,2 °C	67,0 %	10/04/2014	4:17:58
19,6 °C	66,9 %	10/04/2014	4:27:58
19,2 °C	68,8 %	10/04/2014	4:37:58
19,7 °C	67,2 %	10/04/2014	4:47:58
18,8 °C	70,5 %	10/04/2014	4:57:58
20,1 °C	64,8 %	10/04/2014	5:07:58
19,0 °C	68,3 %	10/04/2014	5:17:58
19,3 °C	66,7 %	10/04/2014	5:27:58
19,6 °C	66,9 %	10/04/2014	5:37:58
19,0 °C	69,8 %	10/04/2014	5:47:58
19,5 °C	66,2 %	10/04/2014	5:57:58
18,8 °C	69,3 %	10/04/2014	6:07:58
19,6 °C	67,2 %	10/04/2014	6:17:58
19,1 °C	69,6 %	10/04/2014	6:27:58
19,1 °C	69,5 %	10/04/2014	6:37:58
19,9 °C	66,9 %	10/04/2014	6:47:58
18,8 °C	70,9 %	10/04/2014	6:57:58
19,8 °C	65,4 %	10/04/2014	7:07:58
20,7 °C	63,3 %	10/04/2014	7:17:58
20,8 °C	68,5 %	10/04/2014	7:27:58
21,1 °C	65,9 %	10/04/2014	7:37:58
20,7 °C	74,7 %	10/04/2014	7:47:58
21,5 °C	71,9 %	10/04/2014	7:57:58
20,8 °C	75,4 %	10/04/2014	8:07:58
21,2 °C	67,0 %	10/04/2014	8:17:58
21,2 °C	69,1 %	10/04/2014	8:27:58
21,7 °C	74,9 %	10/04/2014	8:37:58
21,6 °C	75,3 %	10/04/2014	8:47:58
21,9 °C	64,7 %	10/04/2014	8:57:58
21,1 °C	71,9 %	10/04/2014	9:07:58
21,8 °C	79,9 %	10/04/2014	9:17:58
21,5 °C	66,5 %	10/04/2014	9:27:58
20,5 °C	73,4 %	10/04/2014	9:37:58
21,3 °C	73,2 %	10/04/2014	9:47:58
21,9 °C	65,1 %	10/04/2014	9:57:58
21,0 °C	70,3 %	10/04/2014	10:07:58
20,7 °C	77,4 %	10/04/2014	10:17:58
20,6 °C	75,5 %	10/04/2014	10:27:58
21,8 °C	70,3 %	10/04/2014	10:37:58
21,0 °C	69,0 %	10/04/2014	10:47:58
20,7 °C	69,9 %	10/04/2014	10:57:58

### Ensayo 3

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
23,1 °C	69,8 %	10/04/2014	11:33:35
21,8 °C	64,4 %	10/04/2014	11:43:35
22,6 °C	77,7 %	10/04/2014	11:53:35
22,5 °C	64,6 %	10/04/2014	12:03:35
21,9 °C	66,5 %	10/04/2014	12:13:35
21,8 °C	74,6 %	10/04/2014	12:23:35
22,5 °C	63,7 %	10/04/2014	12:33:35
22,7 °C	68,8 %	10/04/2014	12:43:35
21,8 °C	77,4 %	10/04/2014	12:53:35
21,9 °C	81,1 %	10/04/2014	13:03:35
22,2 °C	66,7 %	10/04/2014	13:13:35
23,8 °C	72,5 %	10/04/2014	13:23:35
22,8 °C	81,3 %	10/04/2014	13:33:35
22,5 °C	67,0 %	10/04/2014	13:43:35
21,8 °C	68,1 %	10/04/2014	13:53:35
23,5 °C	64,3 %	10/04/2014	14:03:35
22,1 °C	69,9 %	10/04/2014	14:13:35
21,9 °C	66,9 %	10/04/2014	14:23:35
22,1 °C	65,7 %	10/04/2014	14:33:35
22,1 °C	68,2 %	10/04/2014	14:43:35
21,8 °C	66,5 %	10/04/2014	14:53:35
23,3 °C	61,7 %	10/04/2014	15:03:35
22,0 °C	68,3 %	10/04/2014	15:13:35
21,9 °C	64,3 %	10/04/2014	15:23:35
21,7 °C	69,5 %	10/04/2014	15:33:35
22,2 °C	65,6 %	10/04/2014	15:43:35
22,4 °C	80,4 %	10/04/2014	15:53:35
22,1 °C	65,9 %	10/04/2014	16:03:35
23,2 °C	78,3 %	10/04/2014	16:13:35
22,3 °C	68,9 %	10/04/2014	16:23:35
22,8 °C	70,8 %	10/04/2014	16:33:35
23,1 °C	79,9 %	10/04/2014	16:43:35
22,4 °C	71,3 %	10/04/2014	16:53:35
21,9 °C	66,8 %	10/04/2014	17:03:35
21,7 °C	68,6 %	10/04/2014	17:13:35
23,1 °C	74,5 %	10/04/2014	17:23:35
21,8 °C	82,7 %	10/04/2014	17:33:35
22,4 °C	68,5 %	10/04/2014	17:43:35
21,8 °C	67,9 %	10/04/2014	17:53:35
21,4 °C	66,7 %	10/04/2014	18:03:35
20,2 °C	72,7 %	10/04/2014	18:13:35
19,3 °C	74,4 %	10/04/2014	18:23:35
21,2 °C	69,4 %	10/04/2014	18:33:35
19,9 °C	72,8 %	10/04/2014	18:43:35
19,4 °C	76,2 %	10/04/2014	18:53:35
20,3 °C	70,6 %	10/04/2014	19:03:35
19,4 °C	75,2 %	10/04/2014	19:13:35

19,9 °C	72,6 %	10/04/2014	19:23:35
19,6 °C	73,5 %	10/04/2014	19:33:35
19,7 °C	73,7 %	10/04/2014	19:43:35
19,8 °C	73,2 %	10/04/2014	19:53:35
19,4 °C	74,0 %	10/04/2014	20:03:35
19,9 °C	72,8 %	10/04/2014	20:13:35
19,2 °C	74,6 %	10/04/2014	20:23:35
19,6 °C	72,6 %	10/04/2014	20:33:35
19,7 °C	72,2 %	10/04/2014	20:43:35
19,6 °C	72,9 %	10/04/2014	20:53:35
20,1 °C	71,1 %	10/04/2014	21:03:35
19,7 °C	74,8 %	10/04/2014	21:13:35
19,8 °C	71,6 %	10/04/2014	21:23:35
19,7 °C	71,5 %	10/04/2014	21:33:35
19,6 °C	71,7 %	10/04/2014	21:43:35
19,7 °C	71,0 %	10/04/2014	21:53:35
19,3 °C	72,0 %	10/04/2014	22:03:35
20,0 °C	68,6 %	10/04/2014	22:13:35
19,4 °C	72,4 %	10/04/2014	22:23:35
20,3 °C	67,5 %	10/04/2014	22:33:35
19,1 °C	72,4 %	10/04/2014	22:43:35
20,6 °C	66,0 %	10/04/2014	22:53:35
18,8 °C	71,7 %	10/04/2014	23:03:35
20,5 °C	67,0 %	10/04/2014	23:13:35
19,0 °C	73,3 %	10/04/2014	23:23:35
20,3 °C	68,5 %	10/04/2014	23:33:35
19,0 °C	74,0 %	10/04/2014	23:43:35
20,4 °C	68,0 %	10/04/2014	23:53:35
19,1 °C	73,1 %	11/04/2014	0:03:35
20,3 °C	68,1 %	11/04/2014	0:13:35
19,1 °C	71,5 %	11/04/2014	0:23:35
20,0 °C	68,2 %	11/04/2014	0:33:35
19,2 °C	71,6 %	11/04/2014	0:43:35
20,2 °C	66,9 %	11/04/2014	0:53:35
19,2 °C	71,5 %	11/04/2014	1:03:35
20,6 °C	65,2 %	11/04/2014	1:13:35
19,5 °C	71,3 %	11/04/2014	1:23:35
19,9 °C	68,4 %	11/04/2014	1:33:35
19,5 °C	71,3 %	11/04/2014	1:43:35
19,8 °C	69,9 %	11/04/2014	1:53:35
19,4 °C	71,8 %	11/04/2014	2:03:35
19,7 °C	70,5 %	11/04/2014	2:13:35
19,3 °C	71,3 %	11/04/2014	2:23:35
19,9 °C	70,1 %	11/04/2014	2:33:35
19,2 °C	72,5 %	11/04/2014	2:43:35
20,6 °C	68,0 %	11/04/2014	2:53:35
18,9 °C	73,9 %	11/04/2014	3:03:35
19,9 °C	70,3 %	11/04/2014	3:13:35
18,7 °C	75,1 %	11/04/2014	3:23:35
19,9 °C	70,5 %	11/04/2014	3:33:35
19,0 °C	74,1 %	11/04/2014	3:43:35



19,4 °C	72,5 %	11/04/2014	3:53:35
19,4 °C	73,1 %	11/04/2014	4:03:35
19,2 °C	73,0 %	11/04/2014	4:13:35
19,7 °C	72,0 %	11/04/2014	4:23:35
18,9 °C	74,3 %	11/04/2014	4:33:35
19,7 °C	71,9 %	11/04/2014	4:43:35
18,8 °C	75,0 %	11/04/2014	4:53:35
19,3 °C	72,6 %	11/04/2014	5:03:35
19,6 °C	72,4 %	11/04/2014	5:13:35
18,9 °C	73,8 %	11/04/2014	5:23:35
19,8 °C	71,3 %	11/04/2014	5:33:35
19,0 °C	74,1 %	11/04/2014	5:43:35
19,7 °C	71,4 %	11/04/2014	5:53:35
19,4 °C	73,0 %	11/04/2014	6:03:35
19,7 °C	72,8 %	11/04/2014	6:13:35
19,8 °C	71,7 %	11/04/2014	6:23:35
20,1 °C	74,6 %	11/04/2014	6:33:35
20,2 °C	70,0 %	11/04/2014	6:43:35
20,8 °C	75,2 %	11/04/2014	6:53:35
20,3 °C	71,6 %	11/04/2014	7:03:35
20,9 °C	68,2 %	11/04/2014	7:13:35
21,3 °C	67,2 %	11/04/2014	7:23:35
21,8 °C	66,3 %	11/04/2014	7:33:35
22,1 °C	68,4 %	11/04/2014	7:43:35
21,5 °C	69,2 %	11/04/2014	7:53:35
19,4 °C	67,0 %	11/04/2014	8:03:35
22,3 °C	65,3 %	11/04/2014	8:13:35
22,6 °C	70,0 %	11/04/2014	8:23:35
21,8 °C	67,8 %	11/04/2014	8:33:35
22,3 °C	66,8 %	11/04/2014	8:43:35
21,9 °C	70,8 %	11/04/2014	8:53:35
22,9 °C	70,8 %	11/04/2014	9:03:35
21,6 °C	75,5 %	11/04/2014	9:13:35
22,9 °C	71,4 %	11/04/2014	9:23:35
21,7 °C	73,9 %	11/04/2014	9:33:35
22,7 °C	70,1 %	11/04/2014	9:43:35
22,7 °C	71,2 %	11/04/2014	9:53:35
22,7 °C	69,1 %	11/04/2014	10:03:35
23,5 °C	67,2 %	11/04/2014	10:13:35
24,7 °C	66,5 %	11/04/2014	10:23:35
25,1 °C	63,5 %	11/04/2014	10:33:35
22,7 °C	72,3 %	11/04/2014	10:43:35
22,8 °C	70,7 %	11/04/2014	10:53:35
22,2 °C	73,1 %	11/04/2014	11:03:35
22,5 °C	72,2 %	11/04/2014	11:13:35
22,5 °C	72,0 %	11/04/2014	11:23:35
22,1 °C	72,5 %	11/04/2014	11:33:35
23,1 °C	68,4 %	11/04/2014	11:43:35
22,0 °C	78,8 %	11/04/2014	11:53:35

## Ensayo 4

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
22,8 °C	68,5 %	11/04/2014	12:04:10
23,5 °C	66,6 %	11/04/2014	12:14:10
24,0 °C	65,0 %	11/04/2014	12:24:10
22,4 °C	73,0 %	11/04/2014	12:34:10
23,3 °C	68,1 %	11/04/2014	12:44:10
23,5 °C	67,1 %	11/04/2014	12:54:10
22,6 °C	70,8 %	11/04/2014	13:04:10
22,4 °C	73,3 %	11/04/2014	13:14:10
23,3 °C	69,0 %	11/04/2014	13:24:10
22,5 °C	71,4 %	11/04/2014	13:34:10
22,7 °C	72,5 %	11/04/2014	13:44:10
23,4 °C	68,2 %	11/04/2014	13:54:10
24,4 °C	67,0 %	11/04/2014	14:04:10
24,0 °C	67,6 %	11/04/2014	14:14:10
23,8 °C	68,3 %	11/04/2014	14:24:10
24,0 °C	68,7 %	11/04/2014	14:34:10
23,5 °C	70,3 %	11/04/2014	14:44:10
22,7 °C	72,5 %	11/04/2014	14:54:10
22,7 °C	72,3 %	11/04/2014	15:04:10
22,9 °C	69,9 %	11/04/2014	15:14:10
22,7 °C	71,8 %	11/04/2014	15:24:10
23,2 °C	68,8 %	11/04/2014	15:34:10
22,4 °C	73,1 %	11/04/2014	15:44:10
24,6 °C	66,0 %	11/04/2014	15:54:10
22,4 °C	74,6 %	11/04/2014	16:04:10
23,6 °C	67,9 %	11/04/2014	16:14:10
22,5 °C	71,2 %	11/04/2014	16:24:10
22,2 °C	76,3 %	11/04/2014	16:34:10
23,2 °C	68,9 %	11/04/2014	16:44:10
21,9 °C	72,9 %	11/04/2014	16:54:10
23,5 °C	68,3 %	11/04/2014	17:04:10
22,2 °C	71,9 %	11/04/2014	17:14:10
22,7 °C	71,0 %	11/04/2014	17:24:10
22,4 °C	75,8 %	11/04/2014	17:34:10
21,7 °C	73,6 %	11/04/2014	17:44:10
21,7 °C	73,9 %	11/04/2014	17:54:10
19,8 °C	78,6 %	11/04/2014	18:04:10
21,2 °C	74,0 %	11/04/2014	18:14:10
20,2 °C	76,7 %	11/04/2014	18:24:10
20,0 °C	77,6 %	11/04/2014	18:34:10
20,3 °C	75,7 %	11/04/2014	18:44:10
20,0 °C	77,2 %	11/04/2014	18:54:10
19,7 °C	76,2 %	11/04/2014	19:04:10
20,2 °C	75,7 %	11/04/2014	19:14:10
19,5 °C	78,4 %	11/04/2014	19:24:10
20,0 °C	78,0 %	11/04/2014	19:34:10
19,9 °C	75,4 %	11/04/2014	19:44:10

19,2 °C	79,2 %	11/04/2014	19:54:10
20,2 °C	75,6 %	11/04/2014	20:04:10
20,1 °C	75,9 %	11/04/2014	20:14:10
19,5 °C	78,2 %	11/04/2014	20:24:10
20,1 °C	75,5 %	11/04/2014	20:34:10
19,6 °C	77,7 %	11/04/2014	20:44:10
19,8 °C	76,7 %	11/04/2014	20:54:10
20,1 °C	76,0 %	11/04/2014	21:04:10
19,3 °C	78,7 %	11/04/2014	21:14:10
20,3 °C	75,0 %	11/04/2014	21:24:10
20,3 °C	75,4 %	11/04/2014	21:34:10
19,6 °C	77,6 %	11/04/2014	21:44:10
20,2 °C	75,2 %	11/04/2014	21:54:10
19,6 °C	77,6 %	11/04/2014	22:04:10
19,8 °C	76,5 %	11/04/2014	22:14:10
19,9 °C	75,9 %	11/04/2014	22:24:10
19,3 °C	77,9 %	11/04/2014	22:34:10
20,2 °C	74,9 %	11/04/2014	22:44:10
19,5 °C	76,9 %	11/04/2014	22:54:10
19,6 °C	76,6 %	11/04/2014	23:04:10
19,9 °C	75,0 %	11/04/2014	23:14:10
19,1 °C	78,8 %	11/04/2014	23:24:10
20,2 °C	74,3 %	11/04/2014	23:34:10
19,5 °C	77,0 %	11/04/2014	23:44:10
19,5 °C	76,7 %	11/04/2014	23:54:10
20,1 °C	74,9 %	12/04/2014	0:04:10
19,1 °C	77,7 %	12/04/2014	0:14:10
19,9 °C	74,7 %	12/04/2014	0:24:10
19,2 °C	76,8 %	12/04/2014	0:34:10
18,9 °C	76,7 %	12/04/2014	0:44:10
19,7 °C	72,5 %	12/04/2014	0:54:10
18,8 °C	76,9 %	12/04/2014	1:04:10
19,1 °C	75,5 %	12/04/2014	1:14:10
19,2 °C	74,3 %	12/04/2014	1:24:10
18,4 °C	76,8 %	12/04/2014	1:34:10
20,1 °C	72,4 %	12/04/2014	1:44:10
19,0 °C	76,6 %	12/04/2014	1:54:10
18,9 °C	76,3 %	12/04/2014	2:04:10
19,4 °C	74,6 %	12/04/2014	2:14:10
18,6 °C	78,0 %	12/04/2014	2:24:10
19,4 °C	75,0 %	12/04/2014	2:34:10
19,0 °C	76,8 %	12/04/2014	2:44:10
18,6 °C	77,3 %	12/04/2014	2:54:10
19,6 °C	73,3 %	12/04/2014	3:04:10
18,8 °C	75,6 %	12/04/2014	3:14:10
18,8 °C	75,2 %	12/04/2014	3:24:10
19,7 °C	73,0 %	12/04/2014	3:34:10
18,8 °C	76,4 %	12/04/2014	3:44:10
18,9 °C	75,2 %	12/04/2014	3:54:10
19,7 °C	73,5 %	12/04/2014	4:04:10
18,6 °C	77,2 %	12/04/2014	4:14:10

19,1 °C	75,5 %	12/04/2014	4:24:10
18,9 °C	75,7 %	12/04/2014	4:34:10
18,4 °C	77,5 %	12/04/2014	4:44:10
19,1 °C	74,5 %	12/04/2014	4:54:10
19,0 °C	74,9 %	12/04/2014	5:04:10
18,5 °C	77,2 %	12/04/2014	5:14:10
19,4 °C	74,1 %	12/04/2014	5:24:10
19,5 °C	74,3 %	12/04/2014	5:34:10
18,7 °C	76,9 %	12/04/2014	5:44:10
19,4 °C	73,7 %	12/04/2014	5:54:10
18,7 °C	75,7 %	12/04/2014	6:04:10
18,5 °C	76,6 %	12/04/2014	6:14:10
19,3 °C	74,1 %	12/04/2014	6:24:10
18,8 °C	75,7 %	12/04/2014	6:34:10
18,8 °C	75,9 %	12/04/2014	6:44:10
19,5 °C	73,3 %	12/04/2014	6:54:10
19,6 °C	72,1 %	12/04/2014	7:04:10
19,7 °C	71,5 %	12/04/2014	7:14:10
19,9 °C	70,6 %	12/04/2014	7:24:10
20,3 °C	69,3 %	12/04/2014	7:34:10
20,6 °C	68,2 %	12/04/2014	7:44:10
20,6 °C	66,5 %	12/04/2014	7:54:10
21,4 °C	64,8 %	12/04/2014	8:04:10
22,2 °C	62,5 %	12/04/2014	8:14:10
22,2 °C	63,4 %	12/04/2014	8:24:10
21,9 °C	62,5 %	12/04/2014	8:34:10
22,6 °C	61,4 %	12/04/2014	8:44:10
22,8 °C	58,5 %	12/04/2014	8:54:10
22,9 °C	68,3 %	12/04/2014	9:04:10
20,2 °C	65,9 %	12/04/2014	9:14:10
20,7 °C	63,3 %	12/04/2014	9:24:10
22,5 °C	61,7 %	12/04/2014	9:34:10
23,6 °C	67,6 %	12/04/2014	9:44:10
20,7 °C	64,6 %	12/04/2014	9:54:10
21,5 °C	63,4 %	12/04/2014	10:04:10
22,9 °C	62,8 %	12/04/2014	10:14:10
23,1 °C	67,1 %	12/04/2014	10:24:10
23,4 °C	65,2 %	12/04/2014	10:34:10
22,7 °C	63,6 %	12/04/2014	10:44:10
23,6 °C	64,8 %	12/04/2014	10:54:10
22,0 °C	70,0 %	12/04/2014	11:04:10
23,5 °C	64,1 %	12/04/2014	11:14:10
21,8 °C	68,3 %	12/04/2014	11:24:10
23,6 °C	66,1 %	12/04/2014	11:34:10
22,5 °C	70,1 %	12/04/2014	11:44:10
22,7 °C	67,5 %	12/04/2014	11:54:10

## Ensayo 6

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
21,9 °C	63,3 %	26/08/2014	16:38:58
21,6 °C	66,0 %	26/08/2014	16:48:58
21,7 °C	66,7 %	26/08/2014	16:58:58
22,4 °C	63,1 %	26/08/2014	17:08:58
22,9 °C	64,3 %	26/08/2014	17:18:58
22,5 °C	64,6 %	26/08/2014	17:28:58
22,9 °C	65,5 %	26/08/2014	17:38:58
21,5 °C	67,3 %	26/08/2014	17:48:58
22,5 °C	63,3 %	26/08/2014	17:58:58
22,1 °C	66,0 %	26/08/2014	18:08:58
21,6 °C	65,8 %	26/08/2014	18:18:58
20,7 °C	69,2 %	26/08/2014	18:28:58
20,2 °C	71,8 %	26/08/2014	18:38:58
19,8 °C	70,8 %	26/08/2014	18:48:58
19,9 °C	71,0 %	26/08/2014	18:58:58
20,4 °C	68,1 %	26/08/2014	19:08:58
19,4 °C	71,8 %	26/08/2014	19:18:58
20,3 °C	66,7 %	26/08/2014	19:28:58
19,2 °C	72,5 %	26/08/2014	19:38:58
20,3 °C	69,4 %	26/08/2014	19:48:58
19,5 °C	71,2 %	26/08/2014	19:58:58
19,9 °C	68,8 %	26/08/2014	20:08:58
19,8 °C	69,0 %	26/08/2014	20:18:58
19,4 °C	70,7 %	26/08/2014	20:28:58
20,2 °C	67,5 %	26/08/2014	20:38:58
19,5 °C	70,0 %	26/08/2014	20:48:58
19,4 °C	69,8 %	26/08/2014	20:58:58
20,0 °C	67,5 %	26/08/2014	21:08:58
19,4 °C	71,6 %	26/08/2014	21:18:58
19,2 °C	69,8 %	26/08/2014	21:28:58
20,1 °C	67,3 %	26/08/2014	21:38:58
19,5 °C	69,4 %	26/08/2014	21:48:58
18,9 °C	71,4 %	26/08/2014	21:58:58
19,5 °C	68,6 %	26/08/2014	22:08:58
19,7 °C	68,0 %	26/08/2014	22:18:58
19,3 °C	69,3 %	26/08/2014	22:28:58
18,9 °C	70,8 %	26/08/2014	22:38:58
19,4 °C	68,3 %	26/08/2014	22:48:58
19,6 °C	67,3 %	26/08/2014	22:58:58
19,1 °C	69,3 %	26/08/2014	23:08:58
18,9 °C	69,8 %	26/08/2014	23:18:58
19,4 °C	68,8 %	26/08/2014	23:28:58
19,7 °C	66,7 %	26/08/2014	23:38:58
19,3 °C	67,9 %	26/08/2014	23:48:58
19,0 °C	69,4 %	26/08/2014	23:58:58
19,3 °C	67,9 %	27/08/2014	0:08:58
19,7 °C	66,3 %	27/08/2014	0:18:58

19,2 °C	68,2 %	27/08/2014	0:28:58
19,0 °C	69,8 %	27/08/2014	0:38:58
19,1 °C	67,9 %	27/08/2014	0:48:58
19,8 °C	65,9 %	27/08/2014	0:58:58
19,2 °C	68,6 %	27/08/2014	1:08:58
19,0 °C	68,4 %	27/08/2014	1:18:58
18,8 °C	68,8 %	27/08/2014	1:28:58
19,5 °C	66,9 %	27/08/2014	1:38:58
19,1 °C	67,9 %	27/08/2014	1:45:14
19,1 °C	67,7 %	27/08/2014	1:55:14
19,7 °C	65,0 %	27/08/2014	2:05:14
19,6 °C	65,5 %	27/08/2014	2:15:14
19,1 °C	68,0 %	27/08/2014	2:25:14
19,4 °C	66,2 %	27/08/2014	2:35:14
19,7 °C	65,7 %	27/08/2014	2:45:14
19,1 °C	68,0 %	27/08/2014	2:55:14
19,1 °C	67,8 %	27/08/2014	3:05:14
19,6 °C	66,8 %	27/08/2014	3:15:14
19,3 °C	67,3 %	27/08/2014	3:25:14
19,1 °C	69,0 %	27/08/2014	3:35:14
19,1 °C	67,5 %	27/08/2014	3:45:14
19,9 °C	64,8 %	27/08/2014	3:55:14
19,6 °C	66,6 %	27/08/2014	4:05:14
19,0 °C	68,9 %	27/08/2014	4:15:14
18,8 °C	69,2 %	27/08/2014	4:25:14
19,2 °C	67,3 %	27/08/2014	4:35:14
19,4 °C	66,2 %	27/08/2014	4:45:14
19,3 °C	67,6 %	27/08/2014	4:55:14
18,9 °C	68,5 %	27/08/2014	5:05:14
18,9 °C	68,0 %	27/08/2014	5:15:14
18,7 °C	68,9 %	27/08/2014	5:25:14
19,0 °C	67,7 %	27/08/2014	5:35:14
19,7 °C	65,9 %	27/08/2014	5:45:14
19,2 °C	66,5 %	27/08/2014	5:55:14
19,0 °C	67,8 %	27/08/2014	6:05:14
19,4 °C	69,4 %	27/08/2014	6:15:14
19,5 °C	68,7 %	27/08/2014	6:25:14
19,7 °C	68,3 %	27/08/2014	6:35:14
19,9 °C	68,8 %	27/08/2014	6:45:14
18,7 °C	67,1 %	27/08/2014	6:55:14
19,5 °C	66,2 %	27/08/2014	7:05:14
19,2 °C	66,6 %	27/08/2014	7:15:14
19,8 °C	64,6 %	27/08/2014	7:25:14
20,0 °C	64,9 %	27/08/2014	7:35:14
20,1 °C	65,2 %	27/08/2014	7:45:14
20,5 °C	62,7 %	27/08/2014	7:55:14
21,0 °C	62,8 %	27/08/2014	8:05:14
21,0 °C	62,0 %	27/08/2014	8:15:14
21,4 °C	62,3 %	27/08/2014	8:25:14
21,5 °C	62,8 %	27/08/2014	8:35:14
21,7 °C	62,4 %	27/08/2014	8:45:14

21,8 °C	62,3 %	27/08/2014	8:55:14
21,9 °C	63,0 %	27/08/2014	9:05:14
21,7 °C	62,9 %	27/08/2014	9:15:14
21,4 °C	63,9 %	27/08/2014	9:25:14
21,9 °C	63,8 %	27/08/2014	9:35:14
23,1 °C	64,1 %	27/08/2014	9:45:14
23,0 °C	62,5 %	27/08/2014	9:55:14
22,6 °C	62,3 %	27/08/2014	10:05:14
22,8 °C	62,6 %	27/08/2014	10:15:14
21,7 °C	64,5 %	27/08/2014	10:25:14
22,7 °C	64,4 %	27/08/2014	10:35:14
23,9 °C	62,6 %	27/08/2014	10:45:14
25,3 °C	62,3 %	27/08/2014	10:55:14
23,1 °C	62,2 %	27/08/2014	11:05:14
23,0 °C	63,1 %	27/08/2014	11:15:14
23,4 °C	64,0 %	27/08/2014	11:25:14
23,6 °C	63,0 %	27/08/2014	11:35:14
24,1 °C	64,5 %	27/08/2014	11:45:14
23,0 °C	62,9 %	27/08/2014	11:55:14
23,3 °C	68,3 %	27/08/2014	12:05:14
22,6 °C	64,2 %	27/08/2014	12:15:14
25,1 °C	64,9 %	27/08/2014	12:25:14
24,5 °C	67,0 %	27/08/2014	12:35:14
22,8 °C	62,3 %	27/08/2014	12:45:14
23,4 °C	62,3 %	27/08/2014	12:55:14
26,1 °C	61,7 %	27/08/2014	13:05:14
25,2 °C	69,2 %	27/08/2014	13:15:14
25,5 °C	69,2 %	27/08/2014	13:25:14
23,3 °C	67,5 %	27/08/2014	13:35:14
22,6 °C	67,6 %	27/08/2014	13:45:14
24,0 °C	62,5 %	27/08/2014	13:55:14
22,5 °C	68,5 %	27/08/2014	14:05:14
23,5 °C	65,0 %	27/08/2014	14:15:14
22,5 °C	66,1 %	27/08/2014	14:25:14
24,3 °C	62,5 %	27/08/2014	14:35:14
23,4 °C	67,2 %	27/08/2014	14:45:14
23,3 °C	69,2 %	27/08/2014	14:55:14
23,4 °C	67,1 %	27/08/2014	15:05:14
23,1 °C	70,9 %	27/08/2014	15:15:14
22,8 °C	68,8 %	27/08/2014	15:25:14
23,0 °C	66,5 %	27/08/2014	15:35:14
22,7 °C	60,7 %	27/08/2014	15:45:14
24,0 °C	64,8 %	27/08/2014	15:55:14
23,4 °C	64,4 %	27/08/2014	16:05:14
22,6 °C	63,4 %	27/08/2014	16:15:14
23,5 °C	62,8 %	27/08/2014	16:25:14
22,1 °C	66,2 %	27/08/2014	16:35:14
23,3 °C	68,4 %	27/08/2014	16:45:14
23,0 °C	66,7 %	27/08/2014	16:55:14
22,1 °C	67,1 %	27/08/2014	17:05:14
23,2 °C	63,8 %	27/08/2014	17:15:14

## Ensayo 7

Temperatura	% HR	Sello de tiempo	
21,3 °C	67,1 %	27/08/2014	17:36:31
20,1 °C	72,0 %	27/08/2014	17:46:31
20,8 °C	70,8 %	27/08/2014	17:56:31
20,9 °C	68,3 %	27/08/2014	18:06:31
19,7 °C	73,4 %	27/08/2014	18:16:31
20,4 °C	70,5 %	27/08/2014	18:26:31
19,4 °C	73,0 %	27/08/2014	18:36:31
19,4 °C	74,0 %	27/08/2014	18:46:31
19,7 °C	71,1 %	27/08/2014	18:56:31
19,3 °C	72,6 %	27/08/2014	19:06:31
19,1 °C	72,2 %	27/08/2014	19:16:31
18,9 °C	72,6 %	27/08/2014	19:26:31
18,7 °C	73,7 %	27/08/2014	19:36:31
18,9 °C	72,1 %	27/08/2014	19:46:31
18,9 °C	70,7 %	27/08/2014	19:56:31
19,1 °C	71,0 %	27/08/2014	20:06:31
19,0 °C	71,3 %	27/08/2014	20:16:31
19,0 °C	71,1 %	27/08/2014	20:26:31
18,7 °C	72,4 %	27/08/2014	20:36:31
19,2 °C	69,8 %	27/08/2014	20:46:31
18,8 °C	71,7 %	27/08/2014	20:56:31
18,9 °C	72,4 %	27/08/2014	21:06:31
18,7 °C	71,9 %	27/08/2014	21:16:31
19,0 °C	71,1 %	27/08/2014	21:26:31
19,6 °C	68,6 %	27/08/2014	21:36:31
19,3 °C	68,8 %	27/08/2014	21:46:31
19,0 °C	70,8 %	27/08/2014	21:56:31
19,1 °C	70,5 %	27/08/2014	22:06:31
18,8 °C	70,1 %	27/08/2014	22:16:31
19,2 °C	69,5 %	27/08/2014	22:26:31
19,3 °C	69,0 %	27/08/2014	22:36:31
19,1 °C	70,0 %	27/08/2014	22:46:31
19,0 °C	71,7 %	27/08/2014	22:56:31
18,7 °C	71,8 %	27/08/2014	23:06:31
19,0 °C	69,8 %	27/08/2014	23:16:31
19,5 °C	68,8 %	27/08/2014	23:26:31
19,2 °C	69,7 %	27/08/2014	23:36:31
18,8 °C	71,6 %	27/08/2014	23:46:31
18,9 °C	71,6 %	27/08/2014	23:56:31
18,9 °C	71,0 %	28/08/2014	0:06:31
19,2 °C	69,7 %	28/08/2014	0:16:31
19,1 °C	70,7 %	28/08/2014	0:26:31
19,0 °C	71,3 %	28/08/2014	0:36:31
18,9 °C	71,3 %	28/08/2014	0:46:31
18,7 °C	73,0 %	28/08/2014	0:56:31
18,7 °C	72,2 %	28/08/2014	1:06:31
18,7 °C	72,8 %	28/08/2014	1:16:31



18,6 °C	72,8 %	28/08/2014	1:26:31
18,7 °C	71,0 %	28/08/2014	1:36:31
19,1 °C	71,6 %	28/08/2014	1:46:31
19,1 °C	71,0 %	28/08/2014	1:56:31
18,9 °C	71,6 %	28/08/2014	2:06:31
18,9 °C	70,8 %	28/08/2014	2:16:31
18,8 °C	71,0 %	28/08/2014	2:26:31
18,6 °C	72,2 %	28/08/2014	2:36:31
18,6 °C	73,5 %	28/08/2014	2:46:31
18,6 °C	72,2 %	28/08/2014	2:56:31
18,6 °C	72,3 %	28/08/2014	3:06:31
18,7 °C	72,2 %	28/08/2014	3:16:31
18,5 °C	72,5 %	28/08/2014	3:26:31
18,5 °C	72,3 %	28/08/2014	3:36:31
18,6 °C	71,3 %	28/08/2014	3:46:31
18,6 °C	71,4 %	28/08/2014	3:56:31
18,6 °C	71,5 %	28/08/2014	4:06:31
18,8 °C	70,2 %	28/08/2014	4:16:31
19,0 °C	69,8 %	28/08/2014	4:26:31
19,1 °C	69,6 %	28/08/2014	4:36:31
18,9 °C	70,0 %	28/08/2014	4:46:31
18,9 °C	70,5 %	28/08/2014	4:56:31
18,6 °C	70,9 %	28/08/2014	5:06:31
18,7 °C	70,9 %	28/08/2014	5:16:31
18,8 °C	70,6 %	28/08/2014	5:26:31
18,7 °C	70,5 %	28/08/2014	5:36:31
18,7 °C	70,6 %	28/08/2014	5:46:31
18,8 °C	70,4 %	28/08/2014	5:56:31
18,8 °C	70,9 %	28/08/2014	6:06:31
18,8 °C	70,8 %	28/08/2014	6:16:31
19,2 °C	70,9 %	28/08/2014	6:26:31
19,6 °C	71,9 %	28/08/2014	6:36:31
19,9 °C	72,1 %	28/08/2014	6:46:31
20,2 °C	72,0 %	28/08/2014	6:56:31
20,5 °C	69,3 %	28/08/2014	7:06:31
21,1 °C	67,9 %	28/08/2014	7:16:31
21,3 °C	67,4 %	28/08/2014	7:26:31
21,9 °C	65,9 %	28/08/2014	7:36:31
22,2 °C	64,4 %	28/08/2014	7:46:31
22,7 °C	64,3 %	28/08/2014	7:56:31
22,4 °C	64,3 %	28/08/2014	8:06:31
22,0 °C	63,5 %	28/08/2014	8:16:31
22,4 °C	62,9 %	28/08/2014	8:26:31
22,2 °C	62,3 %	28/08/2014	8:36:31
22,2 °C	63,1 %	28/08/2014	8:46:31
21,8 °C	64,7 %	28/08/2014	8:56:31
21,8 °C	65,5 %	28/08/2014	9:06:31
22,6 °C	62,3 %	28/08/2014	9:16:31
22,9 °C	61,6 %	28/08/2014	9:26:31
21,8 °C	66,8 %	28/08/2014	9:36:31
22,3 °C	62,3 %	28/08/2014	9:46:31

22,5 °C	62,7 %	28/08/2014	9:56:31
22,0 °C	64,8 %	28/08/2014	10:06:31
22,4 °C	62,5 %	28/08/2014	10:16:31
23,0 °C	62,9 %	28/08/2014	10:26:31
22,7 °C	64,2 %	28/08/2014	10:36:31
22,6 °C	63,2 %	28/08/2014	10:46:31
23,9 °C	62,1 %	28/08/2014	10:56:31
22,1 °C	64,3 %	28/08/2014	11:06:31
23,1 °C	62,7 %	28/08/2014	11:16:31
22,1 °C	64,1 %	28/08/2014	11:26:31
21,8 °C	66,7 %	28/08/2014	11:36:31
21,9 °C	66,2 %	28/08/2014	11:46:31
22,6 °C	64,8 %	28/08/2014	11:56:31
21,7 °C	63,8 %	28/08/2014	12:06:31
22,6 °C	61,9 %	28/08/2014	12:16:31
22,2 °C	65,0 %	28/08/2014	12:26:31
23,1 °C	63,4 %	28/08/2014	12:36:31
22,2 °C	65,2 %	28/08/2014	12:46:31
22,0 °C	65,4 %	28/08/2014	12:56:31
23,1 °C	62,3 %	28/08/2014	13:06:31
22,7 °C	64,8 %	28/08/2014	13:16:31
23,3 °C	62,5 %	28/08/2014	13:26:31
23,0 °C	66,6 %	28/08/2014	13:36:31
22,9 °C	67,7 %	28/08/2014	13:46:31
22,8 °C	67,0 %	28/08/2014	13:56:31
23,4 °C	67,0 %	28/08/2014	14:06:31
23,4 °C	67,5 %	28/08/2014	14:16:31
23,7 °C	67,8 %	28/08/2014	14:26:31
23,5 °C	69,9 %	28/08/2014	14:36:31
22,9 °C	67,3 %	28/08/2014	14:46:31
22,7 °C	65,3 %	28/08/2014	14:56:31
22,3 °C	65,3 %	28/08/2014	15:06:31
22,2 °C	64,5 %	28/08/2014	15:16:31
22,3 °C	64,7 %	28/08/2014	15:26:31
22,5 °C	64,9 %	28/08/2014	15:36:31
22,2 °C	66,3 %	28/08/2014	15:46:31
22,2 °C	63,3 %	28/08/2014	15:56:31
23,7 °C	63,9 %	28/08/2014	16:06:31
22,3 °C	65,8 %	28/08/2014	16:16:31
23,1 °C	64,9 %	28/08/2014	16:26:31
21,9 °C	69,0 %	28/08/2014	16:36:31
22,7 °C	62,8 %	28/08/2014	16:46:31
22,4 °C	66,1 %	28/08/2014	16:56:31

## Anexo 6: Código fuente del controlador difuso

### CÓDIGO SISTEMA DE CONTROL DIFUSO

```
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzySet.h>

#include <DHT.h>           //Libreria sensor DHT22
#include <Wire.h>          //Libreria comunicación I2C
#include <DS1307new.h>     //Libreria RTCds1307

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(26, 28, 30, 32, 34, 36); //Configuración de pines LCD

DHT dht1(7, DHT22);      //Puerto 1er Sensor
DHT dht2(8, DHT22);      //Puerto 2do Sensor
DHT dht3(9, DHT22);      //Puerto 3er Sensor
DHT dht4(11, DHT22);     //Puerto 4to Sensor
DHT dht5(12, DHT22);     //5to Sensor exterior

uint16_t startAddr = 0x0000; // Start address to store in the NV-RAM
uint16_t lastAddr;           // new address for storing in NV-RAM
uint16_t TimeIsSet = 0xaa55; // Helper that time must not set again

float tp=0;                  //Variable para la temperatura promedio
float hp=0;                  //Variable para la humedad promedio

int salcal = 40;             //Puerto salida del calefactor
int salventc = 42;           //Puerto salida del ventilador del calefactor
int salhum = 46;             //Puerto salida del humidificador
int salext = 47;             //Puerto salida de los extractores
int salventh1 = 48;          //Puerto salida ventilador inyector con la primera velocidad
int salventh2 = 49;          //Puerto salida ventilador inyector con la segunda velocidad
int salventh3 = 50;          //Puerto salida ventilador inyector con la tercera velocidad

int x =0;                    //Variable para los tiempos de calefacción

///REGLAS SISTEMA FUZZY///
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();

///PRIMERAS ENTRADAS DIA TEMPERATURA Y HUMEDAD, CONDICION NORMAL///
FuzzySet* minimaletal = new FuzzySet(10, 13, 13, 17);
FuzzySet* minimabiologica = new FuzzySet(15, 18, 18, 22);
FuzzySet* optimat1 = new FuzzySet(22, 23, 23, 24);
```

```

FuzzySet* optimat2 = new FuzzySet(24, 25, 25, 26);
FuzzySet* maximabiologica = new FuzzySet(26, 29, 29, 33);
FuzzySet* maximaletal = new FuzzySet(31, 34, 34, 38);

FuzzySet* baja = new FuzzySet(20, 30, 30, 43);
FuzzySet* regularbaja = new FuzzySet(39, 50, 50, 63);
FuzzySet* optimah1 = new FuzzySet(63, 65, 65, 70);
FuzzySet* optimah2 = new FuzzySet(70, 75, 75, 77);
FuzzySet* regularalta = new FuzzySet(77, 85, 85, 91);
FuzzySet* alta = new FuzzySet(87, 95, 95, 100);

///SEGUNDAS ENTRADAS NOCHE TEMPERATURA Y HUMEDAD///
FuzzySet* mil = new FuzzySet(9, 12, 12, 15);
FuzzySet* mib = new FuzzySet(13, 16, 16, 19);
FuzzySet* o = new FuzzySet(17, 20, 20, 23);
FuzzySet* mab = new FuzzySet(21, 24, 24, 27);
FuzzySet* mal = new FuzzySet(25, 28, 28, 31);

FuzzySet* b = new FuzzySet(20, 30, 30, 43);
FuzzySet* rb = new FuzzySet(39, 50, 50, 63);
FuzzySet* o1 = new FuzzySet(59, 70, 70, 81);
FuzzySet* ra = new FuzzySet(77, 85, 85, 91);
FuzzySet* a = new FuzzySet(87, 95, 95, 100);

///TERCERAS ENTRADAS DIA TEMPERATURA Y HUMEDAD, CONDICIÓN
EXTERIOR///TEMPERATURA BAJA Y, HUMEDAD ALTA O BAJA///SOLO CALENTAR Y,
CALENTAR Y HUMEDECER RESPECTIVAMENTE///
FuzzySet* minimal = new FuzzySet(10, 13, 13, 17);
FuzzySet* minimab = new FuzzySet(15, 18, 18, 22);
FuzzySet* oc = new FuzzySet(18, 24, 24, 30);
FuzzySet* maximab = new FuzzySet(26, 29, 29, 33);
FuzzySet* maximal = new FuzzySet(31, 34, 34, 38);

FuzzySet* baj = new FuzzySet(20, 30, 30, 43);
FuzzySet* regularb = new FuzzySet(39, 50, 50, 63);
FuzzySet* oh = new FuzzySet(59, 70, 70, 81);
FuzzySet* regulara = new FuzzySet(77, 85, 85, 91);
FuzzySet* alt = new FuzzySet(87, 95, 95, 100);

void setup(){

    lcd.begin(20, 4);

    pinMode(2, INPUT);           // Test of the SQW pin, D2 = INPUT
    digitalWrite(2, HIGH);       // Test of the SQW pin, D2 = Pullup on

    RTC.setRAM(0, (uint8_t *)&startAddr, sizeof(uint16_t)); // Store startAddr in NV-RAM address 0x08

    //TimeIsSet = 0xffff;
    //RTC.setRAM(54, (uint8_t *)&TimeIsSet, sizeof(uint16_t));

    RTC.getRAM(54, (uint8_t *)&TimeIsSet, sizeof(uint16_t));
    if (TimeIsSet != 0xaa55)
    {
        RTC.stopClock();
    }
}

```

```

RTC.fillByYMD(2014,8,19);
RTC.fillByHMS(12,34,30);

RTC.setTime();
TimeIsSet = 0xaa55;
RTC.setRAM(54, (uint8_t *)&TimeIsSet, sizeof(uint16_t));
RTC.startClock();
}
else
{
    RTC.getTime();
}

RTC.ctrl = 0x00;          // 0x00=disable SQW pin, 0x10=1Hz,
                          // 0x11=4096Hz, 0x12=8192Hz, 0x13=32768Hz
RTC.setCTRL();
uint8_t MESZ;

dht1.begin();
dht2.begin();
dht3.begin();
dht4.begin();
dht5.begin();

///PINES DE SALIDA ACTUADORES///
pinMode(salcal, OUTPUT);
pinMode(salhum, OUTPUT);
pinMode(salventc, OUTPUT);
pinMode(salventh1, OUTPUT);
pinMode(salventh2, OUTPUT);
pinMode(salventh3, OUTPUT);
pinMode(salex, OUTPUT);

/// ESTABLECIMIENTO PRIMERAS ENTRADAS///
FuzzyInput* temperatura = new FuzzyInput(1);
temperatura->addFuzzySet(minimaletal);
temperatura->addFuzzySet(minimabiologica);
temperatura->addFuzzySet(optimat1);
temperatura->addFuzzySet(optimat2);
temperatura->addFuzzySet(maximabiologica);
temperatura->addFuzzySet(maximaletal);
fuzzy->addFuzzyInput(temperatura);

FuzzyInput* humedad = new FuzzyInput(2);
humedad->addFuzzySet(baja);
humedad->addFuzzySet(regularbaja);
humedad->addFuzzySet(optimah1);
humedad->addFuzzySet(optimah2);
humedad->addFuzzySet(regularalta);
humedad->addFuzzySet(alta);
fuzzy->addFuzzyInput(humedad);

///ESTABLECIMIENTO SEGUNDAS ENTRADAS ///
FuzzyInput* temp = new FuzzyInput(3);
temp->addFuzzySet(mil);
temp->addFuzzySet(mib);

```

```
temp->addFuzzySet(o);
temp->addFuzzySet(mab);
temp->addFuzzySet(mal);
fuzzy->addFuzzyInput(temp);
```

```
FuzzyInput* hume = new FuzzyInput(4);
hume->addFuzzySet(b);
hume->addFuzzySet(rb);
hume->addFuzzySet(o1);
hume->addFuzzySet(ra);
hume->addFuzzySet(a);
fuzzy->addFuzzyInput(hume);
```

/// ESTABLECIMIENTO TERCERAS ENTRADAS///

```
FuzzyInput* sensorc = new FuzzyInput(5);
sensorc->addFuzzySet(minimal);
sensorc->addFuzzySet(minimab);
sensorc->addFuzzySet(oc);
sensorc->addFuzzySet(maximab);
sensorc->addFuzzySet(maximal);
fuzzy->addFuzzyInput(sensorc);
```

```
FuzzyInput* sensorh = new FuzzyInput(6);
sensorh->addFuzzySet(baj);
sensorh->addFuzzySet(regularb);
sensorh->addFuzzySet(oh);
sensorh->addFuzzySet(regulara);
sensorh->addFuzzySet(alt);
fuzzy->addFuzzyInput(sensorh);
```

///PRIMERAS SALIDAS PARA EL DIA, CONDICIÓN NORMAL///

```
FuzzyOutput* calefaccion = new FuzzyOutput(1);    ///TIEMPOS DE CALEFACCION///
FuzzySet* tccero = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
calefaccion->addFuzzySet(tccero);
FuzzySet* tcbajo = new FuzzySet(0, 17, 17, 22);
calefaccion->addFuzzySet(tcbajo);
FuzzySet* tcmedio = new FuzzySet(21, 26, 26, 31);
calefaccion->addFuzzySet(tcmedio);
FuzzySet* tcalto = new FuzzySet(30, 35, 35, 40);
calefaccion->addFuzzySet(tcalto);
fuzzy->addFuzzyOutput(calefaccion);
```

FuzzyOutput\* humidificacion = new FuzzyOutput(2); ///TIEMPOS DE HUMIDIFICACION///

```
FuzzySet* thcero = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humidificacion->addFuzzySet(thcero);
FuzzySet* thbajo = new FuzzySet(0, 17, 17, 22);
humidificacion->addFuzzySet(thbajo);
FuzzySet* thmedio = new FuzzySet(21, 26, 26, 31);
humidificacion->addFuzzySet(thmedio);
FuzzySet* thalto = new FuzzySet(30, 35, 35, 40);
humidificacion->addFuzzySet(thalto);
fuzzy->addFuzzyOutput(humidificacion);
```

FuzzyOutput\* tvent = new FuzzyOutput(5); ///VENTILACIÓN///

```
FuzzySet* tventc = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
tvent->addFuzzySet(tventc);
```

```

FuzzySet* tventb = new FuzzySet(0, 1, 1, 2);
tvent->addFuzzySet(tventb);
FuzzySet* tventm = new FuzzySet(3, 4, 4, 5);
tvent->addFuzzySet(tventm);
FuzzySet* tventa = new FuzzySet(6, 7, 7, 8);
tvent->addFuzzySet(tventa);
fuzzy->addFuzzyOutput(tvent);

///SEGUNDAS SALIDAS PARA LA NOCHE///
FuzzyOutput* cale = new FuzzyOutput(3);      ///TIEMPOS DE CALEFACCION
FuzzySet* tcc = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
cale->addFuzzySet(tcc);
FuzzySet* tcb = new FuzzySet(0, 20, 20, 25);
cale->addFuzzySet(tcb);
FuzzySet* tcm = new FuzzySet(24, 29, 29, 34);
cale->addFuzzySet(tcm);
FuzzySet* tca = new FuzzySet(33, 38, 38, 43);
cale->addFuzzySet(tca);
fuzzy->addFuzzyOutput(cale);

FuzzyOutput* humidi = new FuzzyOutput(4);      ///TIEMPOS DE HUMIDIFICACION
FuzzySet* thc = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humidi->addFuzzySet(thc);
FuzzySet* thb = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humidi->addFuzzySet(thb);
FuzzySet* thm = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humidi->addFuzzySet(thm);
FuzzySet* tha = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humidi->addFuzzySet(tha);
fuzzy->addFuzzyOutput(humidi);

///TERCERAS SALIDAS PARA EL DIA, CONDICIÓN EXTERIOR///TEMPERATURA BAJA Y,
HUMEDAD ALTA O BAJA/// SOLO CALENTAR O CALENTAR Y HUMEDECER
RESPECTIVAMENTE///
FuzzyOutput* tempsensor = new FuzzyOutput(6);      ///TIEMPOS DE CALEFACCIÓN
FuzzySet* tiempocc = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
tempsensor->addFuzzySet(tiempocc);
FuzzySet* tiempocb = new FuzzySet(0, 17, 17, 22);
tempsensor->addFuzzySet(tiempocb);
FuzzySet* tiempocm = new FuzzySet(21, 26, 26, 31);
tempsensor->addFuzzySet(tiempocm);
FuzzySet* tiempoca = new FuzzySet(30, 35, 35, 40);
tempsensor->addFuzzySet(tiempoca);
fuzzy->addFuzzyOutput(tempsensor);

FuzzyOutput* humisensor = new FuzzyOutput(7);      ///TIEMPOS DE HUMIDIFICACIÓN
FuzzySet* tiempohc = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humisensor->addFuzzySet(tiempohc);
FuzzySet* tiempohb = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humisensor->addFuzzySet(tiempohb);
FuzzySet* tiempohm = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humisensor->addFuzzySet(tiempohm);
FuzzySet* tiempoha = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
humisensor->addFuzzySet(tiempoha);
fuzzy->addFuzzyOutput(humisensor);

```

```

////PRIMERAS REGLAS PARA EL DIA////
FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularbaja = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularbaja->joinWithAND(minimaletal, regularbaja);
FuzzyRuleConsequent* thenCalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
thenCalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
thenCalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
thenCalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule1 = new FuzzyRule(1, ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularbaja,
thenCalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule1);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah1->joinWithAND(minimaletal, optimah1);
FuzzyRuleConsequent* then1CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then1CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
then1CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then1CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule2 = new FuzzyRule(2, ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah1,
then1CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule2);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah2 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah2->joinWithAND(minimaletal, optimah2);
FuzzyRuleConsequent* then2CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then2CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
then2CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then2CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule3 = new FuzzyRule(3, ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadOptimah2,
then2CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule3);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularalta = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularalta->joinWithAND(minimaletal, regularalta);
FuzzyRuleConsequent* then3CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then3CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
then3CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then3CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule4 = new FuzzyRule(4, ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadRegularalta,
then3CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule4);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadAlta = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadAlta->joinWithAND(minimaletal, alta);
FuzzyRuleConsequent* then4CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then4CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
then4CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then4CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule5 = new FuzzyRule(5, ifTemperaturaMinimaletalAndHumedadAlta,
then4CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule5);

```



```

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularbaja = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularbaja->joinWithAND(minimabiologica, regularbaja);
FuzzyRuleConsequent* then5CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then5CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcbajo);
then5CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then5CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule6 = new FuzzyRule(6, ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularbaja,
then5CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule6);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah1 = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah1->joinWithAND(minimabiologica, optimah1);
FuzzyRuleConsequent* then6CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then6CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcbajo);
then6CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then6CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule7 = new FuzzyRule(7, ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah1,
then6CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule7);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah2 = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah2->joinWithAND(minimabiologica, optimah2);
FuzzyRuleConsequent* then7CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then7CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcbajo);
then7CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then7CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule8 = new FuzzyRule(8, ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadOptimah2,
then7CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule8);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularalta = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularalta->joinWithAND(minimabiologica, regularalta);
FuzzyRuleConsequent* then8CalefaccionTcmedioAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then8CalefaccionTcmedioAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcmedio);
then8CalefaccionTcmedioAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then8CalefaccionTcmedioAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventa);
FuzzyRule* fuzzyRule9 = new FuzzyRule(9, ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadRegularalta,
then8CalefaccionTcmedioAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule9);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadAlta = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadAlta->joinWithAND(minimabiologica, alta);
FuzzyRuleConsequent* then9CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then9CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tcalto);
then9CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then9CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);

```

```

FuzzyRule* fuzzyRule10 = new FuzzyRule(10, ifTemperaturaMinimabiologicaAndHumedadAlta,
then9CalefaccionTcaltoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule10);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularbaja = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularbaja->joinWithAND(optimat1, regularbaja);
FuzzyRuleConsequent* then10CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa = new
FuzzyRuleConsequent();
then10CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(tccero);
then10CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(thbajo); //MODIFIQUE
DE THCERO A THBAJO...
then10CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(tventa);
FuzzyRule* fuzzyRule11 = new FuzzyRule(11, ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularbaja,
then10CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule11);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah1->joinWithAND(optimat1, optimah1);
FuzzyRuleConsequent* then11CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb = new
FuzzyRuleConsequent();
then11CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(tccero);
then11CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(thcero);
then11CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(tventb);
FuzzyRule* fuzzyRule12= new FuzzyRule(12, ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah1,
then11CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule12);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah2 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah2->joinWithAND(optimat1, optimah2);
FuzzyRuleConsequent* then12CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb = new
FuzzyRuleConsequent();
then12CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(tccero);
then12CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(thcero);
then12CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb->addOutput(tventb);
FuzzyRule* fuzzyRule13 = new FuzzyRule(13, ifTemperaturaOptimat1AndHumedadOptimah2,
then12CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventb);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule13);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularalta = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularalta->joinWithAND(optimat1, regularalta);
FuzzyRuleConsequent* then13CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then13CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tccero);
then13CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then13CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule14 = new FuzzyRule(14, ifTemperaturaOptimat1AndHumedadRegularalta,
then13CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule14);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularbaja = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularbaja->joinWithAND(optimat2, regularbaja);
FuzzyRuleConsequent* then14CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa = new
FuzzyRuleConsequent();
then14CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(tccero);
then14CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(thbajo);
then14CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa->addOutput(tventa);

```

```

FuzzyRule* fuzzyRule15 = new FuzzyRule(15, ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularbaja,
then14CalefaccionTcceroAndHumidificacionThbajoAndTventTventa);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule15);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah1->joinWithAND(optimat2, optimah1);
FuzzyRuleConsequent* then15CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm = new
FuzzyRuleConsequent();
then15CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(tccero);
then15CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(thcero);
then15CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(tventm);
FuzzyRule* fuzzyRule16= new FuzzyRule(16, ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah1,
then15CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule16);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah2 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah2->joinWithAND(optimat2, optimah2);
FuzzyRuleConsequent* then16CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm = new
FuzzyRuleConsequent();
then16CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(tccero);
then16CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(thcero);
then16CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm->addOutput(tventm);
FuzzyRule* fuzzyRule17 = new FuzzyRule(17, ifTemperaturaOptimat2AndHumedadOptimah2,
then16CalefaccionTcceroAndHumidificacionThceroAndTventTventm);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule17);

FuzzyRuleAntecedent* ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularalta = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularalta->joinWithAND(optimat2, regularalta);
FuzzyRuleConsequent* then17CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc = new
FuzzyRuleConsequent();
then17CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tccero);
then17CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(thcero);
then17CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc->addOutput(tventc);
FuzzyRule* fuzzyRule18 = new FuzzyRule(18, ifTemperaturaOptimat2AndHumedadRegularalta,
then17CalefaccionTcbajoAndHumidificacionThceroAndTventTventc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule18);
////SEGUNDAS REGLAS PARA LANOCHE////
FuzzyRuleAntecedent* ifTempMilAndHumeRb = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMilAndHumeRb->joinWithAND(mil, rb);
FuzzyRuleConsequent* thenCaleTcaAndHumidiThc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCaleTcaAndHumidiThc->addOutput(tca);
thenCaleTcaAndHumidiThc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule29 = new FuzzyRule(29, ifTempMilAndHumeRb, thenCaleTcaAndHumidiThc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule29);

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMilAndHumeO1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMilAndHumeO1->joinWithAND(mil, o1);
FuzzyRuleConsequent* thenCale1TcaAndHumidi1Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale1TcaAndHumidi1Thc->addOutput(tca);
thenCale1TcaAndHumidi1Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule30 = new FuzzyRule(30, ifTempMilAndHumeO1, thenCale1TcaAndHumidi1Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule30);

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMilAndHumeRa = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMilAndHumeRa->joinWithAND(mil, ra);
FuzzyRuleConsequent* thenCale2TcaAndHumidi2Thc = new FuzzyRuleConsequent();

```

```

thenCale2TcaAndHumidi2Thc->addOutput(tca);
thenCale2TcaAndHumidi2Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule31 = new FuzzyRule(31, ifTempMilAndHumeRa, thenCale2TcaAndHumidi2Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule31);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMilAndHumeA = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMilAndHumeA->joinWithAND(mil, a);
FuzzyRuleConsequent* thenCale3TcaAndHumidi3Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale3TcaAndHumidi3Thc->addOutput(tca);
thenCale3TcaAndHumidi3Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule32 = new FuzzyRule(32, ifTempMilAndHumeA, thenCale3TcaAndHumidi3Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule32);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMibAndHumeRb = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMibAndHumeRb->joinWithAND(mib, rb);
FuzzyRuleConsequent* thenCale4TcbAndHumidi4Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale4TcbAndHumidi4Thc->addOutput(tcb);
thenCale4TcbAndHumidi4Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule33 = new FuzzyRule(33, ifTempMibAndHumeRb, thenCale4TcbAndHumidi4Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule33);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMibAndHumeO1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMibAndHumeO1->joinWithAND(mib, o1);
FuzzyRuleConsequent* thenCale5TcbAndHumidi5Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale5TcbAndHumidi5Thc->addOutput(tcb);
thenCale5TcbAndHumidi5Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule34 = new FuzzyRule(34, ifTempMibAndHumeO1, thenCale5TcbAndHumidi5Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule34);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMibAndHumeRa= new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMibAndHumeRa->joinWithAND(mib, ra);
FuzzyRuleConsequent* thenCale6TcmAndHumidi6Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale6TcmAndHumidi6Thc->addOutput(tcm);
thenCale6TcmAndHumidi6Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule35 = new FuzzyRule(35, ifTempMibAndHumeRa, thenCale6TcmAndHumidi6Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule35);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempMibAndHumeA= new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempMibAndHumeA->joinWithAND(mib, a);
FuzzyRuleConsequent* thenCale7TcaAndHumidi7Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale7TcaAndHumidi7Thc->addOutput(tca);
thenCale7TcaAndHumidi7Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule36 = new FuzzyRule(36, ifTempMibAndHumeA, thenCale7TcaAndHumidi7Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule36);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempOAndHumeRb= new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempOAndHumeRb->joinWithAND(o, rb);
FuzzyRuleConsequent* thenCale8TccAndHumidi8Thb = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale8TccAndHumidi8Thb->addOutput(tcc);
thenCale8TccAndHumidi8Thb->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule37 = new FuzzyRule(37, ifTempOAndHumeRb, thenCale8TccAndHumidi8Thb);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule37);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempOAndHumeO1= new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempOAndHumeO1->joinWithAND(o, o1);
FuzzyRuleConsequent* thenCale9TccAndHumidi9Thc = new FuzzyRuleConsequent();

```

```

thenCale9TccAndHumidi9Thc->addOutput(tcc);
thenCale9TccAndHumidi9Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule38 = new FuzzyRule(38, ifTempOAndHumeO1, thenCale9TccAndHumidi9Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule38);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifTempOAndHumeRa= new FuzzyRuleAntecedent();
ifTempOAndHumeRa->joinWithAND(o, ra);
FuzzyRuleConsequent* thenCale10TcbAndHumidi10Thc = new FuzzyRuleConsequent();
thenCale10TcbAndHumidi10Thc->addOutput(tcb);
thenCale10TcbAndHumidi10Thc->addOutput(thc);
FuzzyRule* fuzzyRule39 = new FuzzyRule(39, ifTempOAndHumeRa, thenCale10TcbAndHumidi10Thc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule39);

```

///TERCERAS REGLAS CONDICIÓN EXTERIOR///TEMPERATURA BAJA Y, HUMEDAD BAJA O ALTA//

```

FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimalAndSensorhRegularb = new FuzzyRuleAntecedent();
ifSensorcMinimalAndSensorhRegularb->joinWithAND(minimal, regularb);
FuzzyRuleConsequent* then1TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
then1TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempoca);
then1TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
FuzzyRule* fuzzyRule48 = new FuzzyRule(48, ifSensorcMinimalAndSensorhRegularb,
then1TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule48);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimalAndSensorhOc = new FuzzyRuleAntecedent();
ifSensorcMinimalAndSensorhOc->joinWithAND(minimal, oc);
FuzzyRuleConsequent* then2TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
then2TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempoca);
then2TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
FuzzyRule* fuzzyRule49 = new FuzzyRule(49, ifSensorcMinimalAndSensorhOc,
then2TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule49);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimalAndSensorhRegulara = new FuzzyRuleAntecedent();
ifSensorcMinimalAndSensorhRegulara->joinWithAND(minimal, regulara);
FuzzyRuleConsequent* then3TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
then3TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempoca);
then3TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
FuzzyRule* fuzzyRule50 = new FuzzyRule(50, ifSensorcMinimalAndSensorhRegulara,
then3TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule50);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimalAndSensorhAlt = new FuzzyRuleAntecedent();
ifSensorcMinimalAndSensorhAlt->joinWithAND(minimal, alt);
FuzzyRuleConsequent* then4TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
then4TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempoca);
then4TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
FuzzyRule* fuzzyRule51 = new FuzzyRule(51, ifSensorcMinimalAndSensorhAlt,
then4TepsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule51);

```

```

FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimabAndSensorhRegularb = new FuzzyRuleAntecedent();

```

```

    ifSensorcMinimabAndSensorhRegularb->joinWithAND(minimab, regularb);
    FuzzyRuleConsequent* then5TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then5TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempocb);
    then5TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
    FuzzyRule* fuzzyRule52 = new FuzzyRule(52, ifSensorcMinimabAndSensorhRegularb,
then5TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule52);

    FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimabAndSensorhOh = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifSensorcMinimabAndSensorhOh->joinWithAND(minimab, oh);
    FuzzyRuleConsequent* then6TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then6TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempocm); //Modifique de tiempocb a
tiempocm
    then6TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
    FuzzyRule* fuzzyRule53 = new FuzzyRule(53, ifSensorcMinimabAndSensorhOh,
then6TempsensorTiempocbAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule53);

    FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimabAndSensorhRegulara = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifSensorcMinimabAndSensorhRegulara->joinWithAND(minimab, regulara);
    FuzzyRuleConsequent* then7TempsensorTiempocmAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then7TempsensorTiempocmAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempocm);
    then7TempsensorTiempocmAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
    FuzzyRule* fuzzyRule54 = new FuzzyRule(54, ifSensorcMinimabAndSensorhRegulara,
then7TempsensorTiempocmAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule54);

    FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcMinimabAndSensorhAlt = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifSensorcMinimabAndSensorhAlt->joinWithAND(minimab, alt);
    FuzzyRuleConsequent* then8TempsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then8TempsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempoca);
    then8TempsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
    FuzzyRule* fuzzyRule55 = new FuzzyRule(55, ifSensorcMinimabAndSensorhAlt,
then8TempsensorTiempocaAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule55);

    FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcOcAndSensorhRegularb = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifSensorcOcAndSensorhRegularb->joinWithAND(oc, regularb);
    FuzzyRuleConsequent* then9TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then9TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempocc);
    then9TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);
    FuzzyRule* fuzzyRule56 = new FuzzyRule(56, ifSensorcOcAndSensorhRegularb,
then9TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule56);

    FuzzyRuleAntecedent* ifSensorcOcAndSensorhOh = new FuzzyRuleAntecedent();
    ifSensorcOcAndSensorhOh->joinWithAND(oc, oh);
    FuzzyRuleConsequent* then10TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc = new
FuzzyRuleConsequent();
    then10TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempocc);
    then10TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc->addOutput(tiempohc);

```

```

    FuzzyRule* fuzzyRule57 = new FuzzyRule(57, ifSensorOcAndSensorhOh,
then10TempsensorTiempoccAndHumisensorTiempohc);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule57);

}

void loop(){

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("CULTIVO DE ORQUIDEAS");
    RTC.getTime();    //Obtenemos los datos del Reloj

    lcd.setCursor(0, 1);    //Mostramos la Hora
    lcd.print(RTC.hour, DEC);
    lcd.print(":");
    lcd.print(RTC.minute, DEC);

    ///OBTENEMOS LAS MEDIDAS DE LOS 5 SENSORES DHT22///
    float t1 = dht1.readTemperature();
    float h1 = dht1.readHumidity();
    float t2 = dht2.readTemperature();
    float h2 = dht2.readHumidity();

    float t3 = dht3.readTemperature();
    float h3 = dht3.readHumidity();
    float t4 = dht4.readTemperature();
    float h4 = dht4.readHumidity();
    float t5 = dht5.readTemperature();
    float h5 = dht5.readHumidity();
    float h11 = (h1-4.00);
    float h12 = (h2-4.00);
    float h13 = (h3+2.00);
    float h14 = (h4+2.00);

    tp=(t1+t2+t3+t4)/4;    //Obtenemos la temperatura promedio
    float tp1=(t1+t2)/2;
    hp=(h11+h12+h13+h14)/4;    //Obtenemos la humedad promedio

    ///TRABAJO DIURNO (De 7 de la mañana a 6 de la tarde)///
    if(RTC.hour >= 7 && RTC.hour <= 17){

        if((t5 < 19.5) && (h5 >= 70)){    ///CONDICIÓN EXTERIOR///TEMPERATURA BAJA Y
HUMEDAD ALTA///SOLO CALENTAMOS///

            lcd.setCursor(0, 2);    //Mostramos los diferentes valores de tempertura y humedad en la pantalla
            lcd.print("TeIn:");
            lcd.setCursor(5, 2);
            lcd.print(tp1);

            lcd.setCursor(10, 2);
            lcd.print("HRIn:");
            lcd.setCursor(15, 2);
            lcd.print(hp);

            lcd.setCursor(0, 3);
            lcd.print("TeEx:");

```

```

lcd.setCursor(5, 3);
lcd.print(t5);

lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print("HREx:");
lcd.setCursor(15, 3);
lcd.print(h5);

fuzzy->setInput(5, tp1);    //Fuzzificamos la entrada 5 de temperatura con respecto a la variable medida
fuzzy->setInput(6, hp);    //Fuzzificamos la entrada 6 de humedad con respecto a la variable medida
fuzzy->fuzzify();
float output6 = fuzzy->defuzzify(6); //Salida defuzzificada// Tiempo de salida 6 de Calefacción
float output7 = fuzzy->defuzzify(7); //Salida defuzzificada// Tiempo de salida 7 de Humidificación

if(output6 > 0){           //Salida de Calefacción
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("Cale:");
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(output6);
  lcd.setCursor(16, 1);
  lcd.print("min");

  digitalWrite(salhum, HIGH); //Apagamos la bomba
  digitalWrite(salventh1, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 1era velocidad
  digitalWrite(salventh2, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 2era velocidad
  digitalWrite(salventh3, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 3era velocidad
  digitalWrite(salext, HIGH); //Apagamos los extractores
  digitalWrite(salcal, HIGH); //Apagamos el calefactor
  digitalWrite(salventc, LOW); //Enciende ventilador centrifugo.
  delay(5000); //Tiempo de espera de 5s. Para que se encienda completamente el ventilador
  centrifugo
  digitalWrite(salcal, LOW); //Enciende calefactor
  tiempoc1(output6); //Tiempo de salida en minutos
  digitalWrite(salcal, HIGH); //Apagamos el calefactor
  tiempoc4(); //colocar el tiempo de 1 minuto y 10 segundos...para que se enfrien las
  niquelinas
  digitalWrite(salventc, HIGH); //Apagamos el ventilador centrifugo
  delay(20000); //Tiempo de espera para estabilizar el sistema 20 segundos

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.clear(); //limpiar la lcd
}

if((output6 == 0)&&(output7 == 0)){ //Sistema Apagado
  digitalWrite(salcal, HIGH); //Apagamos el calefactor
  digitalWrite(salventc, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector
  digitalWrite(salhum, HIGH); //Apagamos la bomba
  digitalWrite(salext, HIGH); //Apagamos los extractores
  digitalWrite(salventh1, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector
  digitalWrite(salventh2, HIGH);
  digitalWrite(salventh3, HIGH);
  delay(3000); //Volvemos a leer el sensor cad 5 segundos
}
}

```



```

    if((t5 < 19.5) && (h5 < 70)){          ///CONDICIÓN EXTERIOR///TEMPERATURA BAJA Y
HUMEDAD BAJA///CALENTAMOS Y HUMEDecemos POCO///
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("TeIn:");
    lcd.setCursor(5, 2);
    lcd.print(tp1);

    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print("HRIn:");
    lcd.setCursor(15, 2);
    lcd.print(hp);

    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("TeEx:");
    lcd.setCursor(5, 3);
    lcd.print(t5);

    lcd.setCursor(10, 3);
    lcd.print("HREx:");
    lcd.setCursor(15, 3);
    lcd.print(h5);

    fuzzy->setInput(5, tp1);          //Fuzzificamos la entrada 5 de temperatura con respecto a la variable
medida
    fuzzy->setInput(6, hp);          //Fuzzificamos la entrada 6 de humedad con respecto a la variable
medida
    fuzzy->fuzzify();

    float output6 = fuzzy->defuzzify(6); //Salida defuzzificada// Tiempo de salida 6 de Calefacción
    float output7 = fuzzy->defuzzify(7); //Salida defuzzificada// Tiempo de salida 7 de Humidificación

    if(output6 > 0){                  //Salida de Calefacción
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("Cale:");
    lcd.setCursor(11, 1);
    lcd.print(output6);
    lcd.setCursor(16, 1);
    lcd.print("min");

    digitalWrite(salhum, HIGH); //Apagamos la bomba
    digitalWrite(salventh1, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 1era velocidad
    digitalWrite(salventh2, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 2era velocidad
    digitalWrite(salventh3, HIGH); //Apagamos el ventilador inyector 3era velocidad
    digitalWrite(salext, HIGH); //Apagamos los extractores
    digitalWrite(salcal, HIGH); //Apagamos el calefactor
    digitalWrite(salventc, LOW); //Enciende ventilador centrifugo.
    delay(5000); //Tiempo de espera de 5s. Para que se encienda completamente el ventilador
centrifugo
    digitalWrite(salcal, LOW); //Enciende calefactor
    tiempoc2(output6); //Tiempo de salida en minutos
    digitalWrite(salcal, HIGH); //Apagamos el calefactor
    tiempoc4(); //colocar el tiempo de 1 minuto y 10segundos...para que se enfrien las
niquelinas
    digitalWrite(salventc, HIGH); //Apagamos el ventilador centrifugo
    delay(20000); //Tiempo de espera para estabilizar el sensor 20 segundos

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);      //Limpiar la lcd
    lcd.clear();
}

if((output6 == 0)&&(output7 == 0)){ //Sistema Apagado
    if((tp1 >= 22)&&(hp <= 63)){
        digitalWrite(salcal,HIGH);
        digitalWrite(salventc,HIGH);
        digitalWrite(salhum,LOW);
        digitalWrite(salext,HIGH);
        digitalWrite(salventh1, HIGH);
        digitalWrite(salventh2, HIGH);
        digitalWrite(salventh3, HIGH);
        delay(7000);
        digitalWrite(salhum,HIGH);
        temp();
    }

    else{
        digitalWrite(salcal,HIGH);
        digitalWrite(salventc,HIGH);
        digitalWrite(salhum,HIGH);
        digitalWrite(salext,HIGH);
        digitalWrite(salventh1, HIGH);
        digitalWrite(salventh2, HIGH);
        digitalWrite(salventh3, HIGH);
        delay(3000);
    }
}

else{      ///CONDICIÓN NORMAL
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("TeIn:");
    lcd.setCursor(5, 2);
    lcd.print(tp);
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print("HRIn:");
    lcd.setCursor(15, 2);
    lcd.print(hp);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("TeEx:");
    lcd.setCursor(5, 3);
    lcd.print(t5);
    lcd.setCursor(10, 3);
    lcd.print("HREx:");
    lcd.setCursor(15, 3);
    lcd.print(h5);

    fuzzy->setInput(1, tp);
    fuzzy->setInput(2, hp);
    fuzzy->fuzzify();
    float output1 = fuzzy->defuzzify(1);
    float output2 = fuzzy->defuzzify(2);
    float output5 = fuzzy->defuzzify(5);

    if(output1 > 0){      //Salida de Calefacción

```

```

lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("Cale:");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(output1);
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print("min");

digitalWrite(salhum, HIGH);
digitalWrite(salventh1, HIGH);
digitalWrite(salventh2, HIGH);
digitalWrite(salventh3, HIGH);
digitalWrite(salext, HIGH);
digitalWrite(salcal, HIGH);
digitalWrite(salventc, LOW);
delay(5000);
digitalWrite(salcal, LOW);
tiempoc3(output1);
digitalWrite(salcal, HIGH);
tiempoc4();
digitalWrite(salventc, HIGH);
delay(20000);

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.clear();
}

if((output1 == 0)&&(output2 == 0)){ //Sistema apagado
digitalWrite(salcal, HIGH);
digitalWrite(salventc, HIGH);
digitalWrite(salhum, HIGH);
digitalWrite(salext, HIGH);
digitalWrite(salventh3, HIGH);

if(output5 == 1){
digitalWrite(salventh1, LOW);
digitalWrite(salventh2, HIGH);
}
if(output5 == 4){
digitalWrite(salventh1, HIGH);
digitalWrite(salventh2, LOW);
}
delay(3000);
}

else if(output2 > 0){ //Salida de Humidificación
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("Humi:");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(output2);
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print("seg");

digitalWrite(salcal, HIGH);
digitalWrite(salventc, HIGH);
digitalWrite(salventh1, HIGH);
digitalWrite(salventh2, HIGH);

```

```

digitalWrite(salhum,LOW);
digitalWrite(salventh3,LOW);
digitalWrite(salext,LOW);
digitalWrite(salventc,LOW);
tiempoh1(output2);
digitalWrite(salhum,HIGH);
tiempoh2();
digitalWrite(salventc,HIGH);
digitalWrite(salext,LOW);
digitalWrite(salventh3,LOW);
tiempoh3();

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.clear();
}
}
}

//TRABAJO NOCTURNO (De 6 de la tarde a 7 de la mañana)//
else{          //TRABAJO NOCTURNO (De 6 de la tarde a 6 de la mañana)//

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("TeIn:");
lcd.setCursor(5, 2);
lcd.print(tp1);
lcd.setCursor(10, 2);
lcd.print("HRIn:");
lcd.setCursor(15, 2);
lcd.print(hp);
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("TeEx:");
lcd.setCursor(5, 3);
lcd.print(t5);
lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print("HREx:");
lcd.setCursor(15, 3);
lcd.print(h5);

fuzzy->setInput(3, tp1);
fuzzy->setInput(4, hp);
fuzzy->fuzzify();
float output3 = fuzzy->defuzzify(3);
float output4 = fuzzy->defuzzify(4);

if(output3 > 0){          //Salidda de Calefacción
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print("Cale:");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(output3);
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print("min");

digitalWrite(salhum, HIGH);
digitalWrite(salventh1, HIGH);
digitalWrite(salventh2, HIGH);
digitalWrite(salventh3, HIGH);

```

```

    digitalWrite(salext, HIGH);
    digitalWrite(salcal, HIGH);
    digitalWrite(salventc, LOW);
    delay(5000);
    digitalWrite(salcal, LOW);
    tiempoc1(output3);
    digitalWrite(salcal, HIGH);
    tiempoc4();
    digitalWrite(salventc, HIGH);
    delay(20000);

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.clear();
}

if((output3 == 0)&&(output4 == 0)){ //Sistema Apagado
    digitalWrite(salcal, HIGH);
    digitalWrite(salventc, HIGH);
    digitalWrite(salhum, HIGH);
    digitalWrite(salventh1, HIGH);
    digitalWrite(salventh2, HIGH);
    digitalWrite(salventh3, HIGH);
    digitalWrite(salext, HIGH);
    delay(3000);
}
}

///TIEMPO DE CALEFACCIÓN CONDICIÓN EXTERIOR (Temp baja y hume alta) Y NOCTURNO///
void tiempoc1(float valor1){

    float y = (valor1*60);
    for(x=1; x <= y; x++){
        RTC.getTime();

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(RTC.hour, DEC);
        lcd.print(":");
        lcd.print(RTC.minute, DEC);

        y=(y-2.5);
    }
}

///TIEMPO DE CALEFACCIÓN CONDICIÓN EXTERIOR (Temp baja y hume baja)///
void tiempoc2(float valor2){

    float y = (valor2*60);

    for(x=1; x <= y; x++){
        RTC.getTime();

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(RTC.hour, DEC);
        lcd.print(":");
        lcd.print(RTC.minute, DEC);
    }
}

```

```

    if(hp <= 62){
        digitalWrite(salhum,LOW);
        delay(5000);
        digitalWrite(salhum,HIGH);
        temp();
        delay(1000);
        y=y-22;
    }

    if(hp > 62){
        digitalWrite(salhum,HIGH);
    }
}

///TIEMPO DE CALEFACCIÓN NORMAL///
void tiempoc3(float valor3){

    float y = (valor3*60);
    for(x=1; x <= y; x++){
        RTC.getTime();

        if(hp <= 62){
            digitalWrite(salhum,LOW);
            delay(5000);
            digitalWrite(salhum,HIGH);
            temp();
            //delay(1000);
            y=y-22;
        }

        if(hp > 62){
            digitalWrite(salhum,HIGH);
        }
        y=(y-2.5);
    }
}

///TIEMPO DE ESPERA (Enfriar niquelinas)///
void tiempoc4(){

    for(x=1; x<= 30; x++){
        RTC.getTime();

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(RTC.hour, DEC);
        lcd.print(":");
        lcd.print(RTC.minute, DEC);

    }
}

///TIEMPO DE HUMIDIFICACIÓN CONFORME A CADA SALIDA///
void tiempoh1(float valor4){

    float y = (valor4);

```

```

for(x=1; x <= y; x++){
    RTC.getTime();

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(RTC.hour, DEC);
    lcd.print(":");
    lcd.print(RTC.minute, DEC);

    float t1 = dht1.readTemperature();
    float h1 = dht1.readHumidity();
    float t2 = dht2.readTemperature();
    float h2 = dht2.readHumidity();
    float t3 = dht3.readTemperature();
    float h3 = dht3.readHumidity();
    float t4 = dht4.readTemperature();
    float h4 = dht4.readHumidity();
    float t5 = dht5.readTemperature();
    float h5 = dht5.readHumidity();

    float h11 = (h1-4.00);
    float h12 = (h2-4.00);
    float h13 = (h3+2.00);
    float h14 = (h4+2.00);

    tp=(t1+t2+t3+t4)/4;
    float tp1=(t1+t2)/2;
    hp=(h11+h12+h13+h14)/4;

    y=(y-2);
}
}

///TIEMPO DE SÓLO VENTILACIÓN///
void tiempoh2(){

    for(x=1; x<= 10; x++){
        RTC.getTime();

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(RTC.hour, DEC);
        lcd.print(":");
        lcd.print(RTC.minute, DEC);
    }
}

///TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA///
void tiempoh3(){

    for (x=1; x<= 7; x++){
        RTC.getTime();

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(RTC.hour, DEC);
        lcd.print(":");
        lcd.print(RTC.minute, DEC);
    }
}

```

## **Anexo 7: Certificaciones**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES

Jardín Botánico "Reinaldo Espinosa"

Casilla 11-01-249 o letra "B" Loja, Ecuador

Teléfono 3027930

E-mail: [herbario@unl.edu.ec](mailto:herbario@unl.edu.ec) [mingrockg@gmail.com](mailto:mingrockg@gmail.com)

[www.jbreinaldoespinosa.wordpress.com](http://www.jbreinaldoespinosa.wordpress.com)



Loja 28 de Noviembre del 2014

Ing.

Marcelo Gutiérrez Riofrío

Técnico del Jardín Botánico "Reinaldo Espinosa"

**CERTIFICA:**

Que el SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA implementado en un invernadero de orquídeas del jardín botánico Reinaldo Espinosa de la Universidad Nacional de Loja realizado por los señores egresados **Gustavo Bladymir Berrú Correa** y **John Stalin Sinche Loarte** de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la misma universidad, funciona correctamente de acuerdo a los parámetros ambientales que establecí en base al obscultamiento en material bibliográfico y de experiencias de orquideólogos para el correcto desarrollo de orquídeas de clima tropical húmedo.

Los parámetros ambientales son los siguientes:

Rango de temperatura en el día	$24 \pm 5^{\circ}\text{C}$
Rango de temperatura en la noche	$20 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Rango de humedad de relativa	$70 \pm 10\%$

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad facultando a los interesados hacer uso de la presente en los fines legales que estime conveniente.

Ing. Angel Marcelo Gutiérrez Riofrío  
Técnico del Jardín Botánico de la UNL





WASHINGTON ENGLISH INTITUTE

CERTIFIES:

This translation is a true rendition of the original document, and that is has not been altered or changed.

This is what I can certify in honor to the truth.

Sincerely

Lic. Dunia Vivanco V.  
ESL TEACHER.



## OVERVIEW

The present research has as objective to design and to implement a system of automatic control of relative humidity for an orchid greenhouse located in "Reinaldo Espinosa" in the city of Loja as well as to select and implement appropriate actuators which can regulate the relative humidity inside it.

Three systems actuators were used in this project: to soak or to increase the relative humidity. It was used a low pressure misting and heating system as well as a system to force ventilation or to reduce the relative humidity. Each one of these systems was selected and dimensioned based on the permissible values of relative humidity of orchids and the characteristics of the greenhouse, like its volumetric capacity and materials that make up its structure.

As a controller system, it was used a diffuse controller based on the electronic board Arduino Mega 2560, which regulates and maintains the relative humidity at a range of  $70 \pm 10\%$  inside the greenhouse, and at the same time also controls the temperature of the environment in the orchids house, keeping them in appropriate ranges both day and night. The diffuse controller implemented in this project is one of the most basic and it consists in the stage of the results of the rules, core knowledge or rule base, stage of inference and a stage of the results. RHT03 digital sensors were used for the measurement of the variables to improve the performance of the greenhouse and a GLCD screen to display the results. These sensors are the means by which diffuse driver take decisions and activate actuators systems according to the required needs

Finally, it was verified the functioning of the system, It means it could be observed how the system responded to different environmental characteristics that were presented inside the greenhouse throughout the different days of test, It helped us to analyze the behavior of the system and then to establish the respective conclusions and recommendations.

