



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

**Diseño e implementación de un sistema de control climático
empleando un controlador tipo PID-Difuso, para invernadero.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener grado de

Ingeniero Agroindustrial

Presenta

Ignacio Mejía Ugalde

Amealco de Bonfil, Querétaro, Mayo de 2019



**Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Especialidad Agroindustrial**

Diseño e implementación de un sistema de control climático empleando un controlador tipo PID-Difuso, para invernadero.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero Agroindustrial

Presenta:

Ignacio Mejía Ugalde

Dirigido por:

Dr. Luciano Ávila Juárez
Director

Dr. Mario Mejía Ugalde
Co-director

Sinodales

Dr. Luciano Ávila Juárez
Presidente

Dr. Mario Mejía Ugalde
Secretario

M. en L. Noelia Rodríguez Piña
Vocal

Dr. Juan Manuel Vera Morales
Vocal

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad de
Ingeniería

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luciano Ávila Juárez
Coordinador de la Facultad de
Ingeniería

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo 2019
México



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
SECRETARÍA ACADÉMICA



Centro Universitario, noviembre 29 de 2018

M.C. Darío Hurtado Maldonado
Director de Servicios Académicos
Presente

Por este medio informo a usted que el pasante **Ignacio Mejía Ugalde** con expediente número **99240** cumplió con todos los requisitos establecidos en su plan de estudios correspondiente a la carrera de **Ingeniería Agroindustrial** y se autoriza para que lleve a cabo su ceremonia de Titulación por la opción de titulación por, **Tesis Individual**, aprobada en el Consejo Académico de esta Facultad en su sesión ordinaria de **10 de septiembre de 2018** (acuerdo **642/18**), con el título , **"Diseño e implementación de un sistema de control climático empleando un controlador tipo PID-Difuso, para invernadero"**, siendo el jurado examinador formado por los docentes: **presidente** Dr. Luciano Ávila Juárez, **secretario** Dr. Mario Mejía Ugalde, **vocal** M. en L. Noelia Rodríguez Piña, **sinodal** Dr. Juan Vera Morales.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"El ingenio para crear, no para destruir"


MDM Carmen Sosa Garza
Secretaria Académica de la Facultad de Ingeniería
UAQ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas
C.P. 76010 Querétaro, Gro. Tel. 192 12 00 Ext. 6014 y 6015

SOMOS UAQ
EDUCAR CRECER CONSOLIDAR

RESUMEN

Un control preciso en parámetros ambientales como lo es la temperatura y la humedad relativa, e incluso la lluvia y el viento proveen un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas en el invernadero. El presente proyecto, describe el diseño e implementación de un sistema de control que permite sensar y monitorear variables en tiempo real acerca de las condiciones climáticas internas de un invernadero (Temperatura y humedad relativa), así también como en la toma de decisiones ante condiciones climáticas externas (lluvia y viento), gracias al uso de un microcontrolador (PIC18F4550) programado en lenguaje C++ y con fundamento en Reglas de Lógica Difusa (RLD), además de incorporar a este diseño un arreglo de un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo), que es ajustado a las ganancias requeridas para depurar y corregir el error generado dentro del sistema de lazo cerrado, dicho microcontrolador hace posible la comunicación sensor-actuador, para el envío de pulsos de corriente a los actuadores (moto-reductores), donde los resultados de simulación real, muestra velocidades de respuesta de 1 milisegundo de retardo para la temperatura y de 2 milisegundos para la humedad relativa, con ganancias de 0.1328 y 0.2969, para la temperatura y humedad relativa respectivamente, logrando así un sistema de control eficiente en la apertura o cierre de cortinas laterales y ventanas cenitales, con esto se logra evitar el uso innecesario de energía, manteniendo siempre las condiciones ideales propuestas por el usuario y requeridas para cada tipo de cultivo.

(**Palabras clave:** Control, Lógica, Diseño, PID, Difuso)

SUMMARY

A precise control in environmental parameters like the temperature and the humidity, and even the rain and the wind, contribute to a favorable atmosphere for the growth of the plants in the greenhouse. The present project, describes the design and implementation of a control system that allows measure and variable closely monitor in real-time of the climatic conditions interns of a greenhouse (Temperature and humidity), also the making of decisions before external climatic (the rain and the wind) conditions, thanks to the use of a micro-controller (PIC18F4550) programmed in language C++ and with foundation in Rules of Diffuse Logic (RLD), besides incorporating to this design an arrangement of a controller PID (Proportional, Integral and Derivative) that is adjusted to the earnings required to purify and to correct the error generated inside the system of closed knot. This micro-controller makes possible the communication sensor-actuator, sending current pulses to the actuators (moto-reducers), with speeds of answer of 1 retard mili-second for the temperature and of 2 mile-second for the humidity, with gains of 0.1328 and 0.2969, for the temperature and humidity respectively, achieving this way the opening or closing of lateral or zenithal curtains, this make possible to avoid the unnecessary use of energy, always maintaining the ideal conditions proposed by the user and required for each cultivation type.

(Key words: Control, Logic, Design, PID, Diffuse)

**A mi familia, mis padres y a mi hermano
por sus grandes enseñanzas**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron en la realización de la presente tesis en especial al director de ésta, el Dr. Luciano Ávila Juárez por su compromiso permanente, su dedicación y constancia, para la realización de la tesis. Gracias Doctor por cada uno de sus acertados consejos brindados en cada momento de la realización de este proyecto.

También quiero extender los agradecimientos a:

A mis asesores: Dr. Mario Mejía Ugalde, M. en L. Noelia Rodríguez Piña, Dr. Juan Manuel Vera Morales. A mis profesores porque de ellos he recibido mi preparación en la Universidad. A la UAQ por haberme permitido llevar a cabo mis estudios en sus instalaciones. A mis compañeros por su apoyo durante todos estos años de estudio, a toda mi familia, en especial al Dr. Mario Mejía Ugalde y a Lic. María del Rocío Mendoza Tovar, por cada idea, punto de vista y comentario durante la realización del proyecto, también agradezco a Dios, porque de Él he recibido la fe para continuar.

¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	15
2. PROBLEMÁTICA A RESOLVER	16
3. JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 OBJETIVO GENERAL:	18
4.2 OBJETIVOS PARTICULARES:	18
5. REVISIÓN DE LITERATURA	19
5.1 INVERNADEROS EN MÉXICO.	19
5.2 TIPOS DE CONTROLES CLIMÁTICOS PARA INVERNADEROS.	19
5.2.1 <i>Controlador clásico, Proporcional Integral y Derivativo (PID).</i>	20
5.2.2 <i>Controlador usando redes neuronales e inteligencia artificial (IA).</i>	20
5.2.3 <i>Controlador usando lógica difusa en conjunto con un controlador PID.</i>	20
5.3 PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS PARA PROGRAMAR.....	21
5.3.1 <i>Controladores con arreglos programables FPGA's.</i>	21
5.3.2 <i>Controladores usando, procesamientos de señales digitales.</i>	21
5.3.3 <i>Microcontroladores.</i>	22
5.4 FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD.	22
5.4.1 <i>Temperatura.</i>	22
5.4.2 <i>Humedad Relativa.</i>	23
5.4.3 <i>Viento.</i>	23
5.4.4 <i>Lluvia.</i>	24
5.5 USO DE LÓGICA DIFUSA EN INVERNADERO.	24
5.5.1 <i>Ventajas del uso de un control climático.</i>	24
5.5.2 <i>Aplicaciones de lógica difusa.</i>	25
5.5.3 <i>Empleo de lógica difusa, en la programación de microcontroladores para climatizar invernaderos.</i>	25
6. METODOLOGÍA	28
6.1 UBICACIÓN	28
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO	28
6.2.1 <i>La estructura y el sistema de ventilación.</i>	28

6.2.2	<i>El gabinete de control</i>	29
6.2.3	<i>Los moto-reductores</i>	30
6.2.4	<i>La Interfaz-Usuario</i>	30
6.2.5	<i>Los sensores</i>	31
6.3	METODOLOGÍA USADA PARA LA PROGRAMACIÓN DEL MICRO CONTROLADOR.....	31
6.3.1	<i>Reglas de Lógica Difusa (RLD), operadores de fusificación (simples o triangulares) y defusificación (media de máximos, centroide o por centro de área)</i>	32
6.3.2	<i>Fusificación</i>	32
6.3.3	<i>Defusificación</i>	33
6.3.4	<i>Identificación de las variables de estado (entradas del sistema) y las variables de control (salidas del sistema), empleando lógica difusa</i>	33
6.3.5	<i>Reglas y etiquetas lingüísticas empleadas para el control del sistema</i>	35
6.3.6	<i>Creación de la Matriz de Asociación Difusa (MAD)</i>	35
6.3.7	<i>Sistema de Interfaz Difuso (FIS) y controlador PID-Difuso</i>	37
6.4	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL CLIMÁTICO.....	38
6.4.1	<i>Interfaz de comunicación</i>	38
6.4.1.1.	Programación del micro controlador.....	38
6.4.1.2.	Calibración de sensores.....	39
6.4.1.3.	Estandarización de Señales.....	43
6.4.1.4.	Envío de señales (sensores al micro controlador):.....	46
6.4.1.5.	Recepción de señales (micro controlador):.....	47
6.4.1.6.	Comunicación bidireccional (sensor-actuador):.....	48
6.4.2	<i>Diseño y construcción de tarjeta de control y etapa de potencia</i>	48
6.4.2.1.	Etapa de potencia.....	48
6.4.2.2.	Tarjeta de control.....	49
6.4.3	<i>Construcción del sistema de alarma e información útil al usuario</i>	49
6.4.4	<i>Acoplamiento de dispositivos en el gabinete de control</i>	50
6.4.5	<i>Instalación y verificación del funcionamiento del control</i>	50
6.5	COLOCACIÓN DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA Y VERIFICACIÓN DE CORTINAS CENITALES.....	50
6.5.1	<i>Cortinas cenitales</i> :.....	51
6.5.2	<i>Protección eléctrica</i> :.....	51
6.6	PRUEBAS O VALIDACIÓN FUNCIONAL.....	51
7.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	52
7.1	ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	53

7.2	PUNTO DE EQUILIBRIO (P.E.).....	55
7.2.1	<i>Balance de Precios y Costos Totales</i>	55
7.2.2	<i>Gráfica del punto de equilibrio</i>	57
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
8.1	DEL DISEÑO DEL CONTROLADOR TIPO PID-DIFUSO INCREMENTAL.....	58
8.2	TIEMPOS DE MUESTREO Y MODELADO DINÁMICO DE LA PLANTA.....	60
8.3	ECUACIÓN CALCULADA PARA PROGRAMAR EL MICROCONTROLADOR.....	62
8.4	SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PID-DIFUSO INCREMENTAL.....	63
8.5	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR PID-DIFUSO.....	71
8.6	DISCUSIÓN.....	74
9.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	76
9.1	TRABAJO FUTURO (ADAPTACIONES ÚTILES Y NECESARIAS AL CONTROL DE CLIMA).....	76
10.	REFERENCIAS.....	77
11.	APÉNDICE.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 6. 1. Ubicación exacta donde se realizó el proyecto (Mapa satelital).....	28
Figura 6. 2. Cortinas laterales y ventana cenital.	29
Figura 6. 3. Gabinete de control.	29
Figura 6. 4. Moto-reductores (24 VCD, 100 N/m).	30
Figura 6. 5. Interfaz de control de usuario.	31
Figura 6. 6. Monitoreo de variables en tiempo real.	31
Figura 6. 7. Función de pertenencia para la Temperatura.	34
Figura 6. 8. Función de pertenencia para la Humedad Relativa.	34
Figura 6. 9. Función de pertenencia Temperatura-Humedad Relativa.....	36
Figura 6. 10. Función de pertenencia Temperatura ($T_{int} - T_{ext}$).	37
Figura 6. 11. Arquitectura de un sistema de interfaz difuso (FIS).	38
Figura 6. 12. Controlador PID-Difuso Incremental.	38
Figura 6. 13. Lenguajes usados en la programación del micro-controlador.	39
Figura 6. 14. Conexión eléctrica sensor-microcontrolador.	41
Figura 6. 15. Conexión eléctrica para la calibración del sensor de humedad relativa.	41
Figura 6. 16. Conexión eléctrica en la calibración del sensor de lluvia ShieldRain.	43
Figura 6. 17. Sensor de Humedad Relativa, modelo RHT03.	44

Figura 6. 18. Sensor de temperatura, modelo SEN-DS18B20.....	45
Figura 6. 19. Sensor de viento, modelo Wind Click.	45
Figura 6. 20. Sensor de lluvia, modelo Mini-Click.	46
Figura 6. 21. Micro-controlador PIC18F4550.....	47
Figura 6. 22. Micro-controlador PIC18F4550.....	48
Figura 6. 23. Interfaz de potencia (Esquema Eléctrico).	49
Figura 6. 24. Conexión del Display LCD de 16x4.	50
Figura 7. 1. Gráfica del Punto de Equilibrio.	57
Figura 8. 1. Sistema climático, con linealización y desacoplamiento para control.	58
Figura 8. 2. Control difuso, usando el método PID.	59
Figura 8. 3. Controlador PID-Difuso Incremental.	60
Figura 8. 4. Gráfica del comportamiento para la Temperatura (200 s).....	60
Figura 8. 5. Gráfica del comportamiento para la Humedad Relativa (200 s).....	61
Figura 8. 6. Diagrama esquemático en Simulink de Matlab, para la sintonización del controlador (PID-Difuso Incremental), empleando los parámetros de control P, I y D en la temperatura.	65
Figura 8. 7. Resultados en Simulink de Matlab, para la función de transferencia en la temperatura.....	65
Figura 8. 8. Resultados en Simulink de Matlab, empleando los parámetros de control P, I y D en la temperatura.	66

Figura 8. 9. Diagrama esquemático en Simulink de Matlab, para la sintonización del controlador (PID-Difuso Incremental), empleando los parámetros de control P, I y D en la Humedad Relativa.....	66
Figura 8. 10. Resultados en Simulink de Matlab, para la función de transferencia en la Humedad Relativa.....	67
Figura 8. 11. Resultados en Simulink de Matlab, empleando los parámetros de control P, I y D en la Humedad Relativa.....	67
Figura 8. 12. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.	69
Figura 8. 13. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.	69
Figura 8. 14. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.	71
Figura 8. 15. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.	71
Figura 8. 16. Presentación de las reglas de las funciones de pertenencia y del conjunto difuso a defusificar.....	72
Figura 8. 17. Superficie de Control (Relación Temperatura-Humedad Relativa)..	73
Figura 8. 18. Aclimatación de invernadero, con y sin control climático.	73
Figura 8. 19. Respuesta de aclimatación (Sensor-actuador).	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 6.1 Matriz de Asociación Difusa (MAD), para la temperatura y la humedad.	35
Tabla 6.2 Matriz de Asociación Difusa (MAD), para la comparación de temperatura exterior e interior.	36
Tabla 7.1 Lista de materiales usado en la fabricación del Control Climático.	53
Tabla 7.2 Costos de producir un Control Climático.	55
Tabla 7.3 Costos Fijos de producción de un Control Climático.	55
Tabla 7.4 Costos Variables en la producción de un Control Climático.	55
Tabla 7.5 Cálculos realizados de egresos e ingresos anuales y mensuales así como la comparación de controles climáticos de otras empresas.	56
Tabla 7.6 Datos iniciales para la realización de la gráfica P.E.	57
Tabla 8.1 Resultados del cálculo para la función de transferencia para la temperatura y la humedad relativa (FTT y FTJR).	61
Tabla 8.2 Valores de los parámetros de control en temperatura y humedad relativa, para la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental.	64
Tabla 8.3 Código empleado en Simulink de Matlab en la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental, para la variable temperatura.	68
Tabla 8.4 Código empleado en Simulink de Matlab en la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental, para la variable de la humedad relativa.	70
Tabla 11.1 Abreviaturas empleadas.	82

1. INTRODUCCIÓN

Un control adecuado en parámetros climáticos dentro de un invernadero es de vital importancia, ya que nos permite además de generar las condiciones óptimas de desarrollo y crecimiento en las plantas, evitar incidencia de plagas y enfermedades que nos generan pérdidas y uso innecesario de recursos, razones por las cuales un mal control en parámetros como la temperatura y la humedad relativa afectan la rentabilidad y productividad en nuestras cosechas ([Joop 2012](#)).

Recordando la importancia de la temperatura y la humedad relativa, algunos sistemas usan como estrategia el control neuronal y algoritmos genéticos ([Fourati 2014](#); [Irineo et al., 2014](#)), controladores de lógica difusa (CLD) ([Hahn 2011](#); [Iliev 2014](#)), controladores PID convencionales con modelos difusos ([Márquez-Vera et al. 2016](#)), e incluso sistemas de modulación PWM con intermitencia ON-OFF ([Lafont et al., 2015](#)), todos estos sistemas son desarrollados para obtener los mejores rendimientos para un control eficaz de clima bajo invernadero.

La técnica de control propuesta “Diseño e implementación de un sistema de control climático, empleando un controlador tipo PID-Difuso, para invernadero”. Donde se tiene una estación de monitoreo de variables externas como es el caso de lluvia y viento, incluyendo las variables internas no lineales como temperatura y humedad relativa, a dicho sistema para su modelación dinámica, es útil emplear un controlador tipo PID-Difuso Incremental basado en lógica difusa, ya que con este diseño de control en cada ciclo de medición minimizamos el error, realizamos la comunicación eficiente entre sensor-actuador, así como también mejoramos la resolución de respuesta en la aclimatación en nuestro recinto (invernadero).

2. PROBLEMÁTICA A RESOLVER

Los factores climáticos como la lluvia, la temperatura, el viento, y la humedad relativa, son factores que impulsan el rendimiento en los invernaderos de la región, y en la mayoría de los casos no son controlados, afectando directamente la productividad en las plantas.

En México, la producción de invernaderos ha ido en aumento, inclusive, pequeños productores han cambiado su antiguo sistema de producción extensivo a uno intensivo bajo invernaderos. Sin embargo, actualmente el rendimiento es bajo y por lo tanto la rentabilidad de los invernaderos, debido principalmente a las condiciones climáticas variables, tanto el viento como la lluvia, son causa en muchos de los casos, de pérdida total del proyecto debido a, por un lado, el viento puede penetrar dentro del invernadero abierto durante el día, y romper los plásticos, y segundo, al no contar con sensores de lluvia en el invernadero, cuando llueve, ésta penetra dentro del invernadero provocando posteriormente, problemas de enfermedades vegetales que afectan directamente al cultivo.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS

Es necesario desarrollar controles climáticos basados en lógica difusa, que sean robustos, eficientes y económicos, fáciles de usar, además de que estos controles deban de tomar en cuenta no solo la temperatura y humedad relativa, sino también condiciones climáticas como el viento y la lluvia. La temperatura y la humedad relativa pueden incrementar los rendimientos en el invernadero, y se les puede controlar mediante la apertura y cierre de ventanas de manera automática. Por otro lado, el viento es determinante para mantener la humedad relativa y temperatura deseada, sino que puede causar estragos en plásticos. Y finalmente, la lluvia debe ser también controlada mediante el cierre o apertura de cortinas cenitales de manera automática para evitar que el agua entre a los invernaderos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General:

Diseñar, construir e implementar un control climático usando lógica difusa, basado en temperatura, humedad relativa, lluvia y velocidad del viento, en un invernadero.

4.2 Objetivos Particulares:

- Desarrollar un control climático mediante un micro controlador.
- Realizar la interfaz de comunicación, construcción de tarjetas de control, protección eléctrica y etapa de potencia.
- Acoplamiento de dispositivos en el gabinete de control e instalación de sensores.
- Instalación y verificación del funcionamiento del control, en ventanas y cortinas cenitales.
- Pruebas o validación funcional con sistemas de control climático usados en invernadero.
- Realizar un análisis Beneficio-Costo.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Invernaderos en México.

Los invernaderos son estructuras que ayudan a intensificar la producción agrícola, al establecer las condiciones apropiadas para acelerar el desarrollo de los cultivos, logrando con esto, duplicar o triplicar la producción, en comparación con cultivos a campo abierto ([Soto-Zarazúa et al., 2011](#)).

El creciente aumento en la población y la preocupación por la escasez de alimentos para satisfacer las necesidades humanas básicas, va en aumento, aunado a los cambios climáticos que causan estragos en nuestras cosechas ([Chen et al., 2016](#)). Los factores climáticos como la lluvia y el viento, ejercen una gran influencia no solo en la calidad de los productos, sino también en el rendimiento, así como un manejo inadecuado de estos factores provoca la proliferación de patógenos dañinos a la planta, como plagas y enfermedades ([Fourati, 2014](#)).

5.2 Tipos de controles climáticos para invernaderos.

Las condiciones climáticas están siempre en constante cambio, los sistemas de control climático para invernadero se basan principalmente en el monitoreo de señales de entrada y salida, dentro y fuera del invernadero, la mayoría de las señales de entrada se comportan de manera no lineal y son fuertemente influenciadas por las condiciones del clima como: viento, lluvia, temperatura y humedad relativa. De esta manera los sistemas en invernadero son clasificados como, sistemas dinámicos complejos no lineales ([Fourati, 2014](#)). Para el modelado de algoritmos, diseño y control, se emplean una gran cantidad de técnicas, la mayoría se enfocan en eliminar el error, como es el caso del proporcional integral y derivativo (PID), algunos otros en precisión (redes neuronales) y en la velocidad de respuesta como el control usando lógica difusa.

5.2.1 Controlador clásico, Proporcional Integral y Derivativo (PID).

Los controladores PID, son los de mayor uso en la industria, son empleados en la predicción y modelado de algoritmos en el área de control climático, debido a su eficiencia y su fácil implementación, así como también por su amplia gama de aplicaciones, además con el uso de estos controladores (PID), se puede minimizar el error en el cálculo de procesos inestables ([Padula y Visioli, 2011](#)). Sin embargo, el desarrollo de algoritmos y su programación resulta compleja, tediosa y en muchos casos, de bajo rendimiento, como en el caso particular, en donde se tiene que identificar la planta a controlar ([Bassi et al., 2011](#)).

5.2.2 Controlador usando redes neuronales e inteligencia artificial (IA).

Las redes neuronales se emplean en el área de programación, sobre todo en la codificación de algoritmos donde la mayoría de los sistemas son no lineales, con la finalidad de imitar el pensamiento humano, estos algoritmos en el campo de inteligencia artificial proveen un diagnóstico y facilitan la resolución de problemas enfocados a control ([Travé-Massuyès, 2014](#)). Con base en estudios recientes, estadísticas demuestran, que el uso de redes neuronales e inteligencia artificial en control climático, se produce un error del 2% en estimaciones a la hora de hacer la interpolación para el cálculo de variables (temperatura, humedad relativa..., etc.) con respecto al valor real a obtener ([Martínez et al., 2012](#)).

5.2.3 Controlador usando lógica difusa en conjunto con un controlador PID.

En años anteriores, la aplicación de nuevas y avanzadas técnicas de control estaban limitadas, por la baja capacidad de cómputo existente. Controladores basados en Sistemas Difusos (SD), no era posible implementarse en plataformas de última tecnología debido a la complejidad de esta técnica. Nuevas técnicas basadas en software con inteligencia computacional finalmente están siendo aplicadas en agricultura ([Guerbaoui et al., 2013](#)).

Mediciones climáticas para cultivos protegidos, usando modelos de lógica difusa, con actuadores que adecuen las condiciones climáticas internas del invernadero, en la prevención de entrada de lluvia y viento excesivo al invernadero, en la actualidad es posible (Márquez et al., 2016). Un controlador programado usando lógica difusa, ofrece grandes ventajas con respecto a los controladores tradicionales, entre muchas de ellas: las reglas de lógica difusa imitan el pensamiento humano además de ofrecer la capacidad de controlar un sistema sin la capacidad de identificar la planta (Revathi y Sivakumaran, 2016). Ventajas tales como la minimización del porcentaje de error, de hasta un 25% en comparación con otras técnicas de control (Ahlawat et al., 2015).

5.3 Plataformas tecnológicas para programar.

En la actualidad se dispone de tecnologías nuevas para programar, como lo son los microcontroladores, microprocesadores, arreglo de compuertas en campo (FPGA's) y procesadores de señales digitales (DSP).

5.3.1 Controladores con arreglos programables FPGA's.

Un FPGA (Field Programmable Gate Array) consiste en un arreglo bidimensional de bloques lógicos flip-flop con interconexión electrónicamente programable entre ellos. Son dispositivos que constan de 50,000 hasta 100,000 compuertas lógicas equivalentes (Hajduk et al., 2015).

La desventaja del uso de estos dispositivos radica en lo complejo del uso de compuertas y la complejidad de la programación a emplear.

5.3.2 Controladores usando, procesamientos de señales digitales.

Sistemas basados en el Procesamiento de Señales Digitales (DSP), han sido desarrollados con resultados favorables. Estas técnicas consisten en la elaboración de métodos de diagnóstico y monitoreo en tiempo real, tomando varios puntos de operación de señales como lo es: la frecuencia, la amplitud y ángulo de fase, así como el ruido generado en los sensores (Choi et al., 2011). La desventaja radica en

los costos de inversión y mantenimiento ya que requiere el uso de la computadora (PC's) para el uso de algoritmos, así como el envío y recepción de señales (Kumar et al., 2013).

5.3.3 Microcontroladores.

En la actualidad los microcontroladores han demostrado ser las herramientas de alto rendimiento a bajo costo, son empleados en la programación para sistemas de control climático bajo invernadero (Sarkar y Chowdhury, 2016). Son utilizados en la industria, en el ramo automotriz, en dispositivos de control remoto, máquinas de oficina, robots y campos industriales (Alpaslan et al., 2015).

Controladores Periféricos de Interfaz (PIC's), son los principales microcontroladores de Microchip (Ma et al., 2010). Estos incluyen un CPU, RAM, ROM, EPROM, así como puertos de entrada y salida (I/O).

En especial el controlador PIC18F450, su unidad de comunicación USB es compatible con USB 3.0, cuenta con un módulo de interfaz periférico serial (IPS), 13 módulos que permiten convertir de analógico a digital (ADC) de 10 bits, una interfaz de EEPROM de 256 Bytes con la capacidad de 2 KBits en RAM.

5.4 Factores ambientales que afectan la productividad.

El cambio climático afecta directamente a la agricultura, trae como consecuencia, una disminución en la tasa de crecimiento de nuestros cultivos, modificando el proceso natural de fotosíntesis y transpiración en plantas, además de afectar la disponibilidad de humedad relativa en los cultivos (Mahato et al., 2014). Esto trae como consecuencia que la cantidad y calidad de nuestros productos se vea afectada en términos de productividad (Fourati, 2014; Chen et al., 2016).

5.4.1 Temperatura.

El calentamiento global, ha traído severas consecuencias, como el aumento de la temperatura en 0.74°C en los últimos 10 años (Gautam et al., 2013; Salaudeen

et al., 2016). La fotosíntesis en las plantas está relacionada directamente con la temperatura y puede ser descrita por una curva parabólica (Ow et al., 2010). Temperaturas óptimas en plantas (20 a 30°C), maximiza el proceso de fotosíntesis y se inhibe con rangos de temperatura alta (arriba de 45°C), provocando inactivación enzimática (Way y Oren, 2010; Yamori et al., 2014).

5.4.2 Humedad Relativa.

La aclimatación de una planta a su medio, depende fundamentalmente de la cantidad de agua que esta retiene, es decir además del suministro de agua por la raíz, la planta requiere porcentajes de humedad en el ambiente, que le permita el cierre o apertura de estomas, esta densidad de apertura-cierre, es proporcional evitando que la planta se seque (Brodrribb y Jordan, 2011). Un desbalance de humedad relativa en el medio, induce a un estrés hídrico, provocando un gasto excesivo de recursos y funcionalidad anormal en la planta (Carins et al., 2012). Por lo tanto, la inversión cierre-apertura de estomas, ocurre cuando el suministro de agua en la superficie evaporativa, es suficiente para mantener el estoma completamente abierto bajo condiciones óptimas de humedad relativa (Madeline et al., 2014). Mantener la capacidad evaporativa (40 al 80 %) estable, permitirá a la hoja mantener una hidratación funcional (Franks et al., 2012). Técnicas como mantener zonas del invernadero aireado, manteniendo condiciones ideales de humedad relativa (menores a 85 %), mediante apertura o cierre de cortinas incluso durante la noche, evita enfermedades en cultivos, como botritis, hongos y cenicillas, entre otras (Baptista et al., 2012).

5.4.3 Viento.

Estudios recientes sobre el calentamiento global y cambio climático, demuestran condiciones atmosféricas inestables, que provocan vientos de hasta 80km/h sobre todo en la región central de México (Abbasi et al., 2016). La ventilación es uno de los principales factores que afecta directamente la productividad en el invernadero. La entrada de aire, además de modificar la temperatura y humedad

relativa, provoca serios daños al plástico. Para tales casos se requiere mover ventanas laterales o cenitales que permita evitar la entrada de vientos de no más de 30km/h (Teitela et al., 2008).

5.4.4 Lluvia.

Estudios realizados a cultivos, demuestra el efecto provocado por el exceso de lluvia (rangos de 0.2 a 64.2 mm/h), radica en daños e infecciones primarias con índices de proliferación de hongos y cenicillas (Rossi y Caffi, 2012). Así como el impacto de daño, que se produce por la acumulación de agua en zonas donde no se requiere (Fehmi y Kong, 2012). Los modelos que se proponen en la predicción de precipitaciones son impredecibles, así como en la obtención de un método que nos determine los horarios y fechas de lluvia, como los que propone Ng et al. (2010).

5.5 Uso de lógica difusa en invernadero.

Crear una condición ideal, en la que las plantas pueden ser protegidas contra precipitaciones pesadas o viento, manteniendo condiciones ideales de humedad relativa y temperatura, es posible con lógica difusa (Akpan et al., 2011; Shamshiri et al., 2013).

Un sistema automatizado de cultivos protegidos (invernadero), con una interfaz de comunicación entre el sistema y el usuario, le permite a este último, modificar los parámetros que se adecuen al cultivo deseado e incluso corregir errores, monitoreando constantemente variables como lluvia (LI), viento (V), temperatura (T) y humedad relativa (H.R.), y que por medio de control basado en lógica difusa, crear las condiciones climáticas favorables en el invernadero para cada cultivo (Iliev y Sazdov, 2014).

5.5.1 Ventajas del uso de un control climático.

Si se cuenta con un control climático adecuado, se evita:

El agrietamiento o maduración inadecuada en frutos, es decir; se puede alcanzar una disminución del 52 al 17 %, en comparación con invernaderos sin un control climático adecuado (Hahn, 2011).

Se maximiza el proceso de fotosíntesis (Way y Oren, 2010; Yamori et al., 2014).

Se evita la entrada de vientos mayores a 30km/h, que provoquen daños al plástico además de modificar la temperatura y humedad relativa al interior (Teitela et al., 2008; Abbasi et al., 2016).

Se evita enfermedades en cultivos, como botritis, hongos y cenicillas, entre otras, debido a la entrada de lluvia en zonas donde no se requiere agua para la producción (Baptista et al., 2012; Madeline et al., 2014).

5.5.2 Aplicaciones de lógica difusa.

La lógica difusa en control, es una herramienta matemática empleada en simulaciones del pensamiento humano (Wakita et al., 2013), esta es usada para modelar sistemas no lineales (Yan-Jun y Shaocheng, 2014), la cual ha sido usada en Ingeniería y sectores industriales incluyendo bioprocesos y cultivos protegidos (Mitra et al., 2008). También ha sido implementada recientemente, tanto en eficiencia como optimización de controles basados en sistemas de Procesamiento de Señales Digitales (DSP) (Farhat et al., 2015), así como en el campo de arreglos programables, FPGA's (Macías-Bobadilla et al., 2016).

5.5.3 Empleo de lógica difusa, en la programación de microcontroladores para climatizar invernaderos.

Un control climático en el invernadero, requiere el monitoreo y control de mínimo de dos variables no lineales como lo es: la temperatura y la humedad relativa (Olvera-Olvera et al., 2011), y si a esto le agregamos variables como lluvia y viento, tendremos un control que responda ante cambios externos, como el caso del viento, que además de causar estragos al plástico, modifica la humedad interior y por

consiguiendo la temperatura, sin olvidarnos, que si evitamos la entrada de lluvia, también evitaremos ciertas enfermedades (botritis, hongos, cenicillas,... etc.) que causan daños a nuestro cultivo.

[Azaza et al. \(2015\)](#) propone un control de correlación temperatura-humedad, por métodos de lógica difusa, usando rangos de temperatura de 20°C durante la noche y 28°C durante el día, empleando un punto de referencia de 70% en humedad relativa, logrando como resultado, ahorra de energía, mientras se controla el clima en el invernadero.

[Zhang et al. \(2015\)](#) emplea un método con la obtención de datos en tiempo real (Interfaz Visual C++), usando lógica difusa para resolver los efectos de control que causa el acoplamiento de la temperatura en rangos de 12 a 23°C, con respecto a la humedad relativa en rangos aleatorios de 40 a 80% en ambientes cerrados, obteniendo como resultado en respuesta de ± 2.5 a 3% de humedad relativa y fluctuaciones de temperatura de $\pm 0.2^\circ\text{C}$.

[Dhamakale y Patil, \(2011\)](#) diseñan un control climático para invernadero, empleando un enfoque de lógica difusa, en el programado del micro-controlador LP2148. Ellos modificaron las reglas de lógica difusa, en la parte de defusificación agregaron un singleton, ayudándose de ventiladores y aspersores, para el control y monitoreo de señales de salida, como temperatura y humedad relativa.

[Azaza et al. \(2016\)](#) se centraron en el diseño de algoritmos de control empleando lógica difusa, para programar un micro controlador STM 32FM en la manipulación de temperatura, humedad relativa y viento como variables de entrada, para la recepción de señales emplearon FPGA's y para el almacenamiento de datos el uso de la PC, con la herramienta matemática Matlab, logrando como resultado un ahorro de energía en el sistema, con la correlación entre temperatura y humedad relativa.

[Guerbaoui et al. \(2013\)](#) realizaron una implementación de control climático en invernadero, empleando el sensor de temperatura LM34DZ y el sensor de humedad

HIH-4000-00, sin usar micro controlador, con el objetivo de mantener la temperatura a 20°C y una humedad relativa del 50%, solo con él envió de pulsos recibidos de los sensores para ser enviados por medio de transistores a la PC, que mediante el software basado en lógica difusa LawVIEW, realizaron la interfaz de usuario gráfica (GUI). Sus resultados; una similitud en comportamiento de temperatura interna con respecto a la externa.

[Shilpa y Mundada, \(2016\)](#) elaboraron un prototipo de control climático, usando un micro controlador PICFXX550 como interfaz de comunicación, así como los sensores LM35 y el SY-HS-220, de temperatura y humedad relativa respectivamente, además del monitoreo del viento con la estación meteorológica. Los rangos de temperatura que manejaron fueron de hasta 35°C con una humedad relativa del 70% como máximo. Se obtuvo un control ON/OFF, esto fue debido a la falta del uso de algoritmos sistemáticos, en el programado del micro controlador.

[Joseph y Biju, \(2016\)](#) recrearon una maqueta a escala de un invernadero para controlar el microclima interno, con el uso de sistemas difusos empleando una interfaz de comunicación con el programa LawVIEW, en comunicación con el micro controlador ATmega 328 con una tarjeta de adquisición de datos DAQ, conectada a la PC en forma serial. Sus resultados obtenidos fueron, el de mantener el microclima dentro de la maqueta con sus posibles desventajas como es, el pago de licencia de LawVIEW y uso del ordenador (PC).

6. METODOLOGÍA

6.1 Ubicación

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro en el Campus Amealco de Bonfil, localizada al Norte $20^{\circ}22'$, al Sur $20^{\circ}01'$ de latitud Norte; al Este $99^{\circ}55'$, al Oeste $100^{\circ}18'$ de longitud Oeste (INEGI, 2015; Mapas de Google, 2018) (**Figura 6. 1**).



Figura 6. 1. Ubicación exacta donde se realizó el proyecto (Mapa satelital).

6.2 Características del invernadero

6.2.1 La estructura y el sistema de ventilación.

Es un prototipo armado a escala 1:6 por sección de la estructura de un invernadero real, además la estructura está equipada con un sistema de ventilación, es decir dos cortinas laterales y una ventana cenital (**Figura 6. 2**).



Figura 6. 2. Cortinas laterales y ventana cenital.

6.2.2 El gabinete de control.

Cuenta con la protección eléctrica (breaks y relevadores térmicos en los contactores), el control, que incluye; alimentación (110 VCA, 24 VCD y 5 VCD), módulos aislados, esto es; en electrónica digital (periféricos y microcontrolador), analógica (entrada y salida de señales, en sensores) y de potencia (en la parte del envío de señales eléctricas a moto reductores) (**Figura 6. 3**).



Figura 6. 3. Gabinete de control.

6.2.3 Los moto-reductores.

Estos son tres motores de 24VCD, con capacidad de 100 N-m de torque; dos laterales, desplazándose sobre un riel tubular de forma vertical en la estructura y uno en la parte superior derecha adherido, donde por medio de una cremallera (cadena adherida a un PT de 1 pulgada) y piñón (engrane y estructura mecánica) sujeto a la cortina, desplaza la cortina cenital (**Figura 6. 4**).



Figura 6. 4. Moto-reductores (24 VCD, 100 N/m).

6.2.4 La Interfaz-Usuario.

Que incluye cuatro indicadores de procesos (luces), dos botones (para la activación de motores, de forma manual, con led bicolor), un selector (control en manual y automático) y un display LCD-16X4 (Display de Cristal Líquido), que indica en cuatro líneas, las variables de control (**Figura 6. 5**).



Figura 6. 5. Interfaz de control de usuario.

6.2.5 Los sensores.

Al interior del invernadero (una sonda de temperatura y un detector de humedad relativa) y al exterior en torreta (un anemómetro y un pluviómetro) (**Figura 6. 6**).

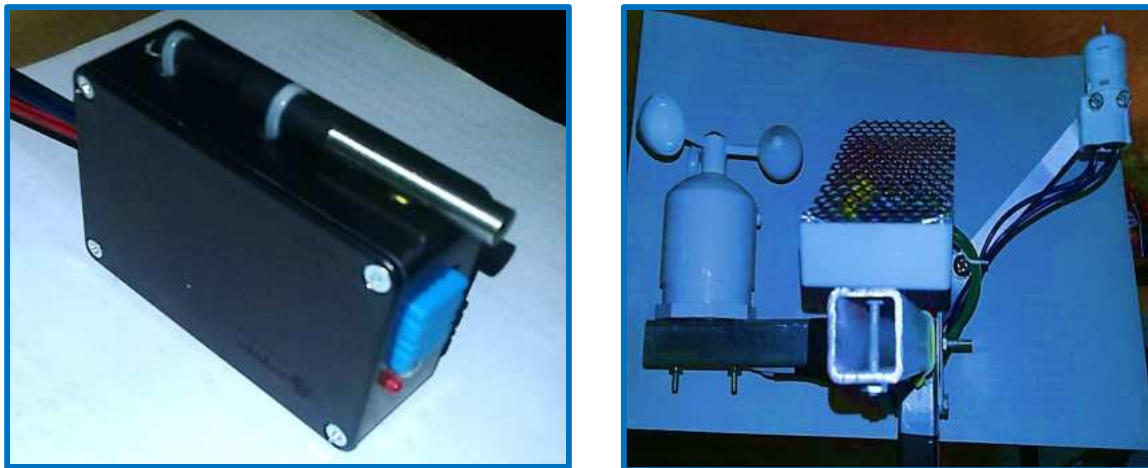


Figura 6. 6. Monitoreo de variables en tiempo real.

6.3 Metodología usada para la programación del micro controlador.

Para los algoritmos de programación del micro-controlador (Familia PIC, número 18XX550), se empleó lógica difusa (LD). En este proyecto, se enfocó en variables cruciales como son; la temperatura, la humedad relativa, el viento y la lluvia, con la finalidad de modelar un sistema no lineal y poder controlarlo empleando las reglas de lógica difusa.

6.3.1 Reglas de Lógica Difusa (RLD), operadores de fusificación (simples o triangulares) y defusificación (media de máximos, centroide o por centro de área).

Dos conjuntos de entrada A y B, con funciones de pertenencia $u_A(x)$ y $u_B(x)$, un nuevo conjunto difuso, con función de pertenencia $u_{A \cup B}(x)$ y $u_{A \cap B}(x)$ está dado por la expresión matemática, **Eq. 6. 1**, respectivamente.

$$u_{A \cup B}(x) = u_A(x)(+)u_B(x) \quad \wedge \quad u_{A \cap B}(x) = u_A(x)(*)u_B(x) \quad (\text{Eq. 6. 1})$$

Donde los operadores $(+) \wedge (*)$, satisface las operaciones básicas de lógica, así: Si $x < y \wedge z < w \Rightarrow x(+)_1 z < y(+)_1 w$ y si, $x < y \wedge z < w \Rightarrow x(*)_2 z < y(*)_2 w$, y el complemento del conjunto difuso $u_A'(x)$, se define por $u_A'(x) = 1 - u_A(x)$.

6.3.2 Fusificación.

Es un procedimiento matemático que convierte un elemento del universo de discurso ($u_{et1}(x_1), u_{et2}(x_2) \dots u_{etn}(x_n)$), en un valor, en cada función de membresía ($u_{A_n}(x_n)$), de esta forma definiremos las implicaciones de lógica difusa de pertenencia, así "IF X_1 es A_1 AND X_2 es $A_2 \dots$ AND X_n es A_n THEN Y_1 es B_1 AND Y_2 es $B_2 \dots$ AND Y_m es B_m " dada por **Eq. 6. 2**, donde A_1, A_2, \dots, A_n y B_1, B_2, \dots, B_n , son valores lingüísticos de las variables lingüísticas respectivamente.

$$u_{A \rightarrow B}(x, y) = 1 - \min(u_A(x), (1 - u_B(y))); \text{ ó así:}$$

$$u_{A \rightarrow B}(x, y) = \max(1 - u_A(x), u_B(y)) \quad (\text{Eq. 6. 2})$$

Las condicionales las expresaremos como: *if* " x_1 " es (MB) y " y_1 " es (MB) *then* z_1 es (S_{75}), siendo MB, *Muy Baja* y S_{75} es subir un 75%, en general

if “ $x(k)$ ” es A_i , donde $x(k) = [T_i(k), H_i(k), V_i(k), Ll_i(k)]$ y $A_i =$ la función triangular de admisión para las reglas o sub-modelos (i_{th}) de temperatura y humedad relativa.

6.3.3 Defusificación.

Es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real representativo de todo el conjunto, donde la función de salida en el proceso de defusificación, se puede obtener por varios métodos, como lo es: defusificación de la media de máximos (*MOM*), la salida es el valor medio de los valores cuyas funciones de membresía alcanza el valor máximo (Eq. 6. 3), defusificación del centroide, la salida difusa se transforma en un número real, la cual es la coordenada de (x) del centro de gravedad del conjunto difuso de la salida (Eq. 6. 4), defusificación por centro de área, denotando a δ_1 el centro de gravedad del conjunto difuso de la salida B_1 , de la 1-ésima regla (Eq. 6. 5).

$$\bar{X}[u_A \rightarrow_B(x, y)] = \frac{\sum_{i=1}^n [\max(1-u_A(x), u_B(y))]}{n} \quad (\text{Eq. 6. 3})$$

$$W_{CA} = \frac{\int y * u_A(y) dy}{\int u_A(y) dy} \quad (\text{Eq. 6. 4})$$

$$y_d = \frac{\sum_{i=1}^R \delta_1 \mu_{B1}(\delta_1)}{\sum_{i=1}^R \mu_{B1}(\delta_1)} \quad (\text{Eq. 6. 5})$$

Donde, $u_A(x)$ $u_B(y)$ son las funciones de admisión de salida del sistema de (x) y (y), respectivamente, y R es el número de reglas.

6.3.4 Identificación de las variables de estado (entradas del sistema) y las variables de control (salidas del sistema), empleando lógica difusa.

6.3.4.1. Para el Control de Temperatura en el sistema.

VARIABLES DE ENTRADA: $T_{Entrada} - T_{Fijada}$ Diferencia entre la temperatura del medio (indicada en el sensor) y la temperatura a fijar optima de la planta (usuario), y las variables de control, son el rango de ventilación (V_{out}) y de calor (AT_{out}), así como el cierre y apertura de cortinas laterales (CL_{out}) y cenitales

(CC_{out}), donde asignamos las variable (**Figura 6. 7**): Muy bajo (- - -), Bajo (- -), Medio (+), Alto (+ +), Muy Alto (+ + +).

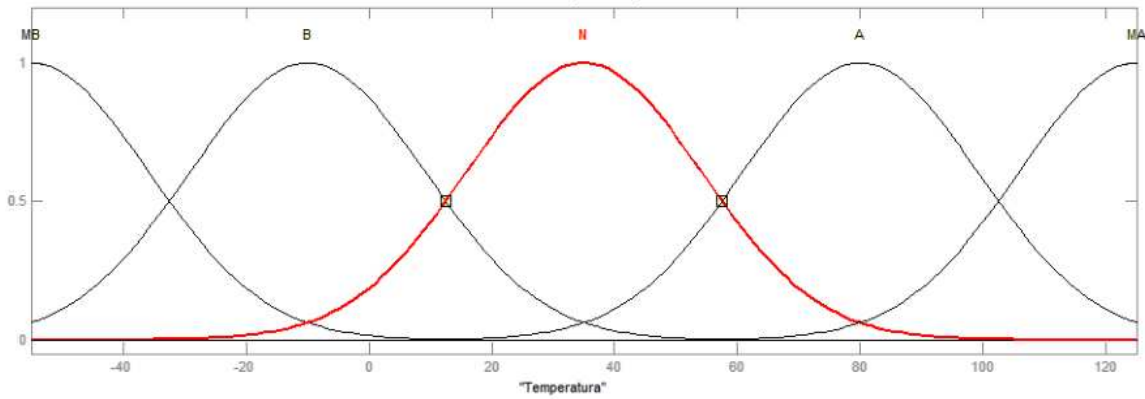


Figura 6. 7. Función de pertenencia para la Temperatura.

6.3.4.2. Para el Control de Humedad Relativa en el sistema.

VARIABLES DE ENTRADA: $HR_{Entrada} - HR_{Fijada}$ Diferencia entre la humedad del medio (censada) y la humedad a fijar (optima de la planta en %), y las variables de control, son el rango de humidificación y deshumidificación ($\pm H_{out}$), donde asignamos las variable (**Figura 6. 8**): Muy bajo (- - -), Bajo (- -), Medio (+), Alto (+ +), Muy Alto (+ + +).

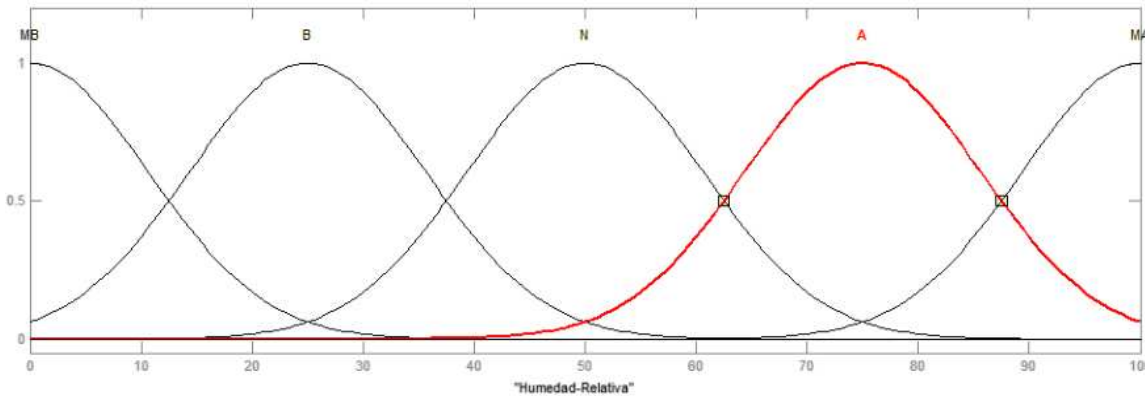


Figura 6. 8. Función de pertenencia para la Humedad Relativa.

6.3.4.3. Para el Control de flujo de Viento al interior del sistema.

VARIABLES DE ENTRADA: $V_{Externa} - V_{Fijada}$ Diferencia entre la velocidad del viento del medio externo (km/h) y la velocidad del viento a fijar (km/h). Y las

variables de control, cierre y apertura de cortinas laterales (CL_{out}), con variables: Cerrado (- -), Medio (+), Abierto (+ +).

6.3.4.4. Para el control de la entrada de lluvia al sistema.

VARIABLES DE ENTRADA: $Ll_{Externa} - Ll_{aFijar}$ Diferencia entre la Cantidad de Lluvia del medio exterior y la cantidad de lluvia a fijar (mm/h), y las variables de control, cierre y apertura de cortinas cenitales (CC_{out}), donde asignamos la variable: Cerrado (- -), Medio (+), Abierto (+ +).

6.3.5 Reglas y etiquetas lingüísticas empleadas para el control del sistema.

Para las variables de entrada, como es el caso de la temperatura y la humedad relativa, se asumen 5 valores lingüísticos (reglas): muy baja (MB), baja (B), normal (N), alta (A), muy alta (MA). Y para las variables de control asignaremos 7 variables lingüísticas (etiquetas): bajar100 (B_{100}), bajar75 (B_{75}), bajar50 (B_{50}), mantener (M), subir50 (S_{50}), subir75 (S_{75}), y subir100 (S_{100}).

6.3.6 Creación de la Matriz de Asociación Difusa (MAD).

6.3.6.1. Temperatura y Humedad Relativa.

Tabla 6.1 Matriz de Asociación Difusa (MAD), para la temperatura y la humedad.

Temperatura	Humedad Relativa				
	MB	B	N	A	MA
MB	B_{100}	B_{100}	B_{75}	B_{50}	B_{50}
B	B_{100}	B_{100}	B_{50}	B_{50}	B_{75}
N	M	M	$M_{(1)}$	$S_{50(2)}$	S_{75}
A	M	M	$S_{50(3)}$	$S_{100(4)}$	S_{100}
MA	S_{50}	S_{50}	S_{75}	S_{100}	S_{100}

(1) Si la Temperatura es Normal (N) y la Humedad Relativa es Alta (N), entonces no hay variación, el sistema se queda en Mantener (M). (2) Si la Temperatura es Normal (N) y la Humedad Relativa es Alta (A), entonces, la variación es Subir al 50% (S_{50}). (3) Si la

Temperatura es Alta (A) y la Humedad Relativa es Normal (N), entonces, la variación es Subir al 50% (S_{50}). (4) Si la Temperatura es Alta (A) y la Humedad Relativa es Alta (A), entonces, la variación es Subida al 100% (S_{100}) (Figura 6. 9).

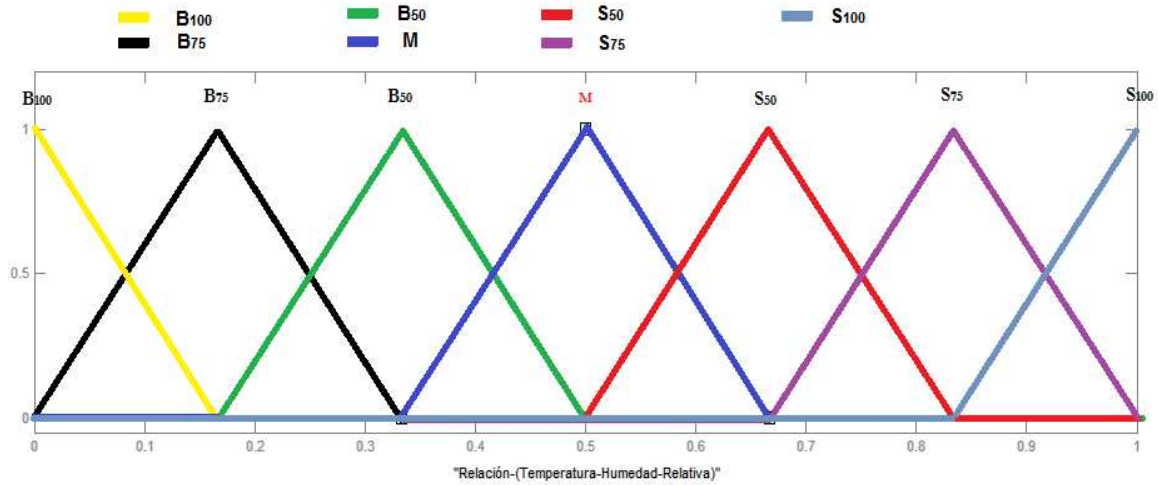


Figura 6. 9. Función de pertenencia Temperatura-Humedad Relativa.

6.3.6.2. Temperatura (Temporada Invernal).

Tabla 6.2 Matriz de Asociación Difusa (MAD), para la comparación de temperatura exterior e interior.

T_{Ext}	Temperatura Interior (T_{Int})				
	MB	B	N	A	MA
MB	AT(+++)	AT(++)	AT(+)	AT(--)	AT(---)
B	AT(++)	AT(+)	AT(--)	AT(---)	V(+)
N	AT(+)	AT(--)(1)	AT(---)(2)	V(-)	V(+)
A	AT(-)	AT(---)(3)	V(--)(4)	V(+)	V(++)
MA	AT(---)	V(---)	V(+)	V(+++)	V(+++)

Variables de Control: V = Ventilar y AT = Aclimatar con Calor, con las condiciones; Muy Baja (- - -), Baja (- -), Medio (+), Alta (+ +) y Muy Alta (+ + +).

(1) Si la Temperatura exterior es Normal (N) y la Temperatura interior es Baja (B), entonces Aclimatar Temperatura ($AT(-)$). (2) Si la Temperatura exterior es Normal (N) y

la Temperatura Interior es Normal (N), entonces, Aclimatar Temperatura (AT_(-..)). **(3)** Si la Temperatura exterior es Alta (A) y Temperatura interior es Baja (B), entonces Aclimatar Temperatura (AT_(- - -)). **(4)** Si la Temperatura exterior es Alta (A) y la Temperatura Interior es Normal (N), entonces Ventilar (V_(-..)) **(Figura 6. 10)**.

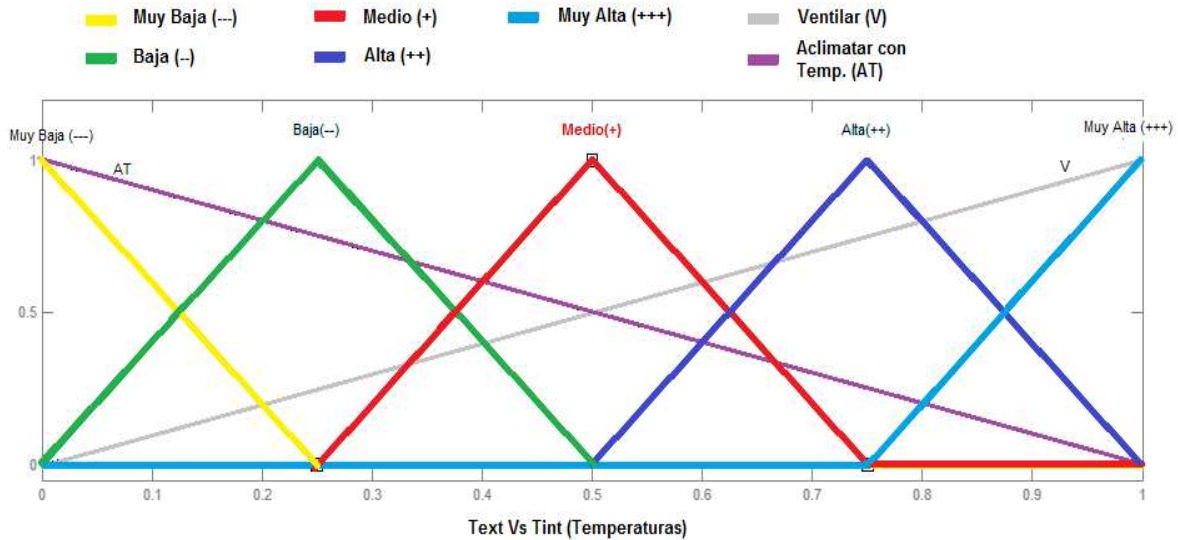


Figura 6. 10. Función de pertenencia Temperatura ($T_{int} - T_{ext}$).

6.3.7 Sistema de Interfaz Difuso (FIS) y controlador PID-Difuso.

La arquitectura de un sistema de interfaz difuso (FIS), consiste en la elaboración de un mapeo y diagrama de interconexión, que incluye entradas y salidas, donde los principales componentes son: la interfaz de fusificación, las reglas difusas, una unidad de inferencia tomando decisiones y una interfaz defusificación **(Figura 6. 11)**.

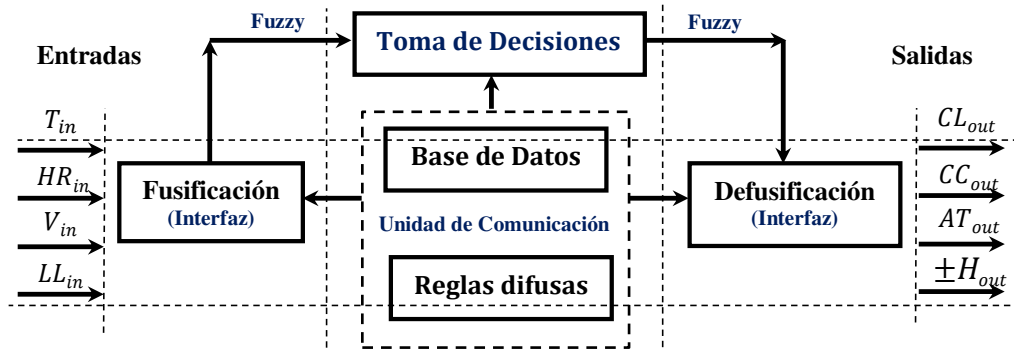


Figura 6. 11. Arquitectura de un sistema de interfaz difuso (FIS).

Un controlador PID-Difuso Incremental, donde las entradas al controlador, son el error $e_k = ref_{in1} - y_k$ y la tasa de cambio del error con respecto al tiempo $\frac{d(e_k)}{dt} = e_k - (e_{k-1})$, y la salida es el cambio incremental con respecto al tiempo en la variable manipulada $\frac{d(u_k)}{dt}$ al proceso (**Figura 6. 12**).

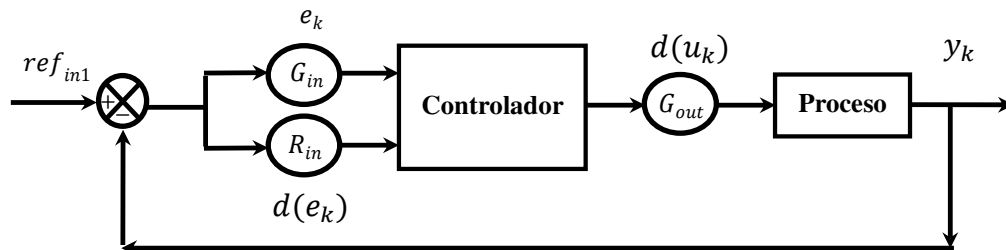


Figura 6. 12. Controlador PID-Difuso Incremental.

La salida del proceso es y_k , donde los parámetros del controlador son las ganancias G_{in} , R_{in} y G_{out} que multiplican a e_k , $\frac{d(e_k)}{dt} \cong \Delta e_k$, y $\frac{d(u_k)}{dt} \cong \Delta u_k$, respectivamente, con $e_k \wedge u_k \in (-1,1)$.

6.4 Diseño y construcción del control climático

6.4.1 Interfaz de comunicación.

6.4.1.1. Programación del micro controlador.

Se usó lógica difusa para elaborar los algoritmos de control en la programación del Micro Controlador de Interfaz Periférico (PIC), familia 18F4550 (**Figura 6. 21**), con la ayuda de las herramientas matemáticas de Matlab (**Figura 6. 13- d**), se formó la matriz de asociación (MAD) para cada conjunto difuso, así como la elaboración de graficas de las variables de estudio (Temperatura, Humedad Relativa, Lluvia y Viento), se empleó el lenguaje C y C++ de programación que usa el programa PIC C Compiler (**Figura 6. 13- a**). El archivo obtenido en el programa PIC C Compiler, se cargó en la simulación virtual por el programa Proteus 8.0 Professional (**Figura 6. 13-b**), que es un programa que simula las conexiones CAD (Diseño Asistido por Computadora) de dispositivos y elementos electrónicos, antes del armado físico, con el fin de corregir posibles errores, además de que con esta aplicación pudimos realizar los tableros para el circuito impreso (PCB). Posterior a la simulación, se efectuó la escritura de algoritmos de control en el micro controlador, en la memoria EEPROM, con el programa Master Prog+ (**Figura 6. 13- c**). El objetivo principal de la programación del micro controlador, es lograr la comunicación bidireccional sensor-actuador, para mantener las condiciones ambientales en el invernadero propuestas o ideadas por el usuario.



a) C. Compiler b) Proteus 8 c) Mater-Prog+ d) Matlab

Figura 6. 13. Lenguajes usados en la programación del micro-controlador.

6.4.1.2. Calibración de sensores.

Antes de la calibración, determinaremos el factor de conversión A, es decir a las condiciones ideales de temperatura del recinto (Invernadero, $t_w = 25^{\circ}C$) (Eq.

6. 6), que valor de la humedad relativa se relaciona con dicha temperatura, para posteriormente realizar la calibración de cada sensor.

$$A = 8.9 \times 10^{-5} (1.0 + (0.115)(t_w)) = 3.48 \times 10^{-4} \quad (\text{Eq. 6. 6})$$

Calculó la presión de saturación $P_s(t_w)$ (Eq. 6. 7), cuyo resultado de la conversión (A) y la presión de saturación P_s , se utilizan en la Eq. 6. 8, para calcular la presión de vapor de agua P_v , donde $P = 101 \text{ kPa}$, y t el punto de ebullición del agua (100°C).

$$P_s(t_w) = \exp((16.46) * (t_w) - 114.86)/(t_w + 231.67)) = 3.18 \text{ kPa} \quad (\text{Eq. 6. 7})$$

$$P_v = P_s(t_w) - [A * P(t - t_w)] = 3.18 \text{ kPa} - A(7575 \text{ kPa}) = 0.54 \text{ kPa} \quad (\text{Eq. 6. 8})$$

Cálculo de la presión de saturación $P_s(t)$ (Eq. 6. 9), y que finalmente calcularemos la Humedad Relativa (Eq. 6. 10).

$$P_s(t) = \exp((16.46) * (t) - 114.86)/(t + 231.67)) = 1.16 \text{ kPa} \quad (\text{Eq. 6. 9})$$

$$\phi = 100 \left(\frac{P_v}{P_s(t)} \right) [\%] = 100 \left(\frac{0.54}{1.16} \right) \% = 46.55\% \quad (\text{Eq. 6. 10})$$

Sensor de humedad, familia RHT03. Se realizó mediante envío de datos a través del sensor AM2302 al micro-controlador 18F4550 (Figura 6. 15) y en cada medición, el sensor envía 40 bits de datos seccionado en 3 secuencias; la primera secuencia de 16 bits corresponden a la humedad relativa, la siguiente secuencia de 16 bits son para la temperatura y los últimos 8 bits son para el buffer de recepción y chequeo de la suma completa. Es decir en la Figura 6. 15, el sensor envía el primer registro al micro-controlador con la siguiente secuencia; 0000 0001 0000 1100 0000 0000 1101 1111 1110 1100, con registro de 26.8% (0000 0001 0000 1100 = 268/10= 26.8) de humedad relativa y la segunda secuencia de 16bits para el registro de 22.3°C para la temperatura (0000 0000 1101 1111 = 223/10=22.3), los últimos 8 bits (1110 1100) resultan de la suma de 0000 0001 + 0000 1100 + 0000 0000 + 1101 1111 = 1110 1100, que son enviados solo para el chequeo correcto de envío de datos.

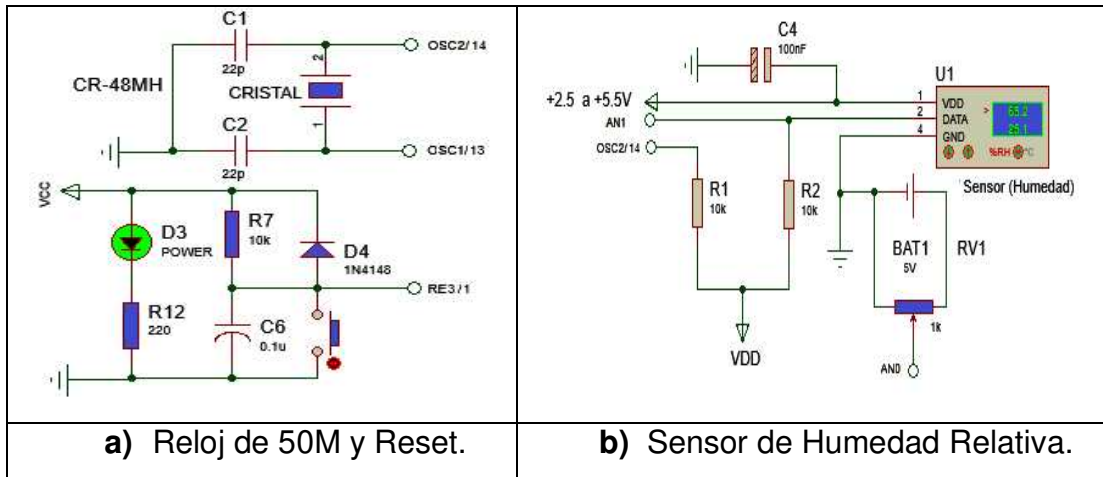


Figura 6. 14. Conexión eléctrica sensor-microcontrolador.

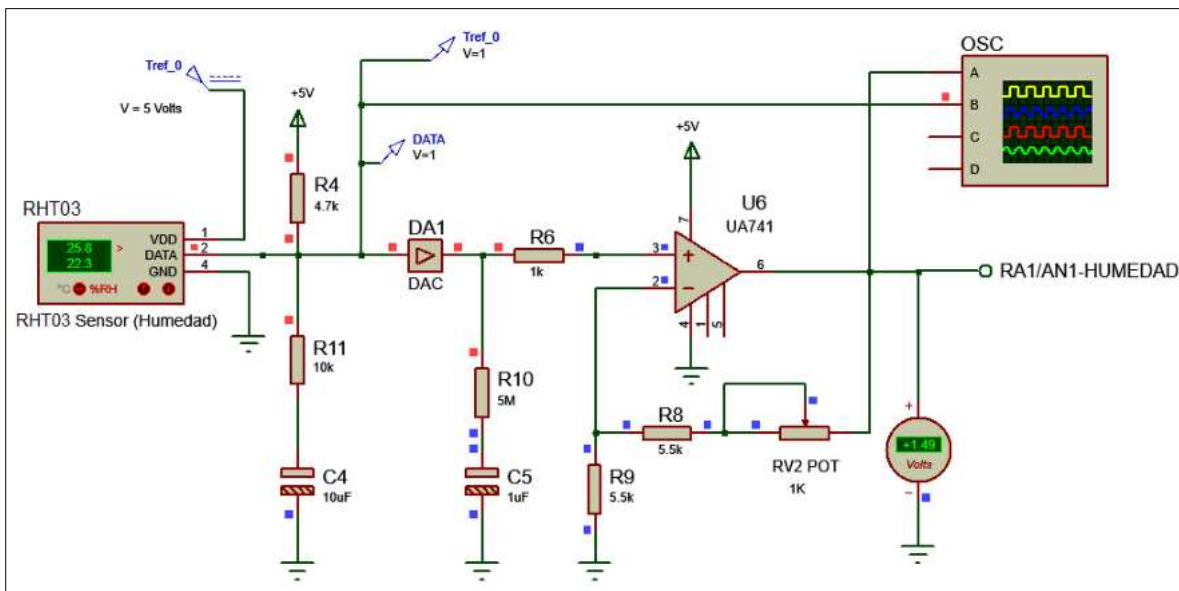


Figura 6. 15. Conexión eléctrica para la calibración del sensor de humedad relativa.

A la salida del sensor en la **Figura 6. 15**, se agrega un DAC (Convertidor Digital a Analógico) y un amplificador no inversor, con la finalidad de corregir los valores de voltaje V_s (**Eq. 6. 11** y **Eq. 6. 12**), por medio de un potenciómetro antes de enviar los datos al ADC (Convertidor Analógico a Digital) del micro-controlador. La calibración se realiza a la temperatura ambiente (25°C) y con la sonda de

temperatura SEN-DS18B20 (**Figura 6. 18**), teniendo en consideración que $V_{suplemento} = 5V_{CD}$.

$$T(^{\circ}C) = [(V_s * 70)/5]^{\circ}C \quad (\text{Eq. 6. 11})$$

$$RH(\%) = [(V_s/V_{suplemento}) - 0.0011]/0.00998 \quad (\text{Eq. 6. 12})$$

Sensor de viento. Se usó un anemómetro marca Win-Click, su sensor ofrece trenes de pulsos unipolares, donde la frecuencia emitida es directamente proporcional a la velocidad de viento (**Eq. 6. 13**), donde A y B son constantes que van de 0 a 1. Para calibrar este sensor, primero se procederá a determinar la frecuencia, se usará un puerto de entrada del micro-controlador (**AN3-Viento**), para activar un ADC en la lectura de voltaje y por medio de un temporizador en lapsos de 1 segundo, se contarán los ciclos que el sensor genera.

$$V\left(\frac{m}{s}\right) = f(Hz) * (A) * (B) \quad (\text{Eq. 6. 13})$$

Sensor de lluvia. Se utilizó un panel ShieldRain y un sensor lluvia marca Mini-Click, en conjunto para detectar lluvia y cantidad de lluvia respectivamente, los registros de lluvia son enviados de forma analógica al micro-controlador, los rangos útiles para el registro son los que van de 0.1 hasta 15 mm, con señales de 0 a 1,024 bits. Para la calibración se tomó en cuenta el margen de error, este no debe ser mayor de ± 0.1 mm para lluvias ≤ 5 mm, y de $\pm 2\%$ para cantidades de lluvia > 5 mm, también se estableció una escala de 3 rangos (lluvia (1), lluvia/humedad (2) y sin lluvia (3)), donde la lectura del ADC de señal analógica se convierte a digital, para su posterior conversión en voltaje $[(5 * read_adc())/1024]$ **Figura 6. 16.**

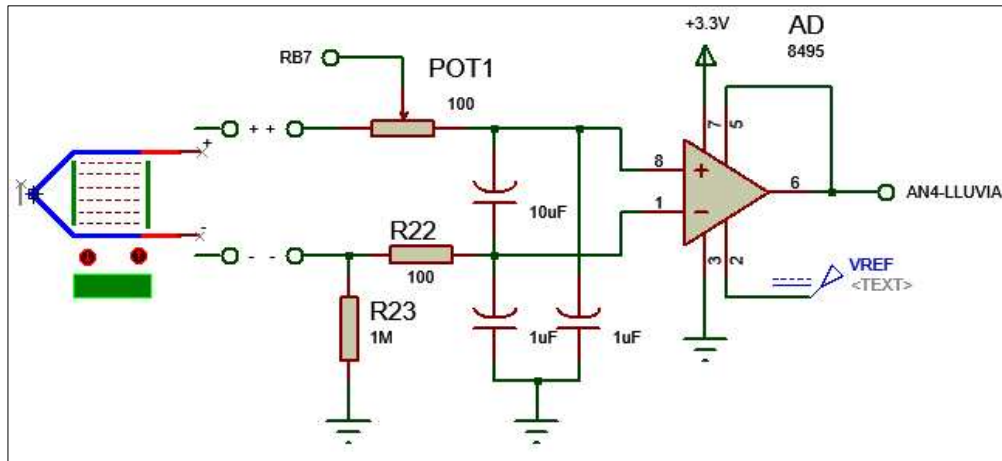


Figura 6. 16. Conexión eléctrica en la calibración del sensor de lluvia ShieldRain.

6.4.1.3. Estandarización de Señales.

Las especificaciones de las señales de salida de los sensores varían dependiendo al fabricante. Para esto se realizó un sistema de ampliación de señales para cada sensor, con el fin de estandarizar dichas señales a la entrada del micro controlador que va de 0 a 1 lógico (0 a +5 Volts).

Para el sensor de Humedad Relativa, familia RHT03, modelo 22, alimentación de 3.3 a 5 Volts de C.D., con rangos de 0 a 100% de HR, resolución de 0.5% y una precisión de $\pm 1\%$ (**Figura 6. 17-a**), la señal de salida del sensor (16 bits) se envía directamente al micro-controlador sin amplificar, y de forma digital al puerto **RA1/NA1(3)**, al igual que el sensor de Temperatura incluido dentro del modelo 11, con rangos de +5 a +65 °C, una precisión de ± 0.5 °C y resolución de 0.1 °C (**Figura 6. 17-b**), donde el micro-controlador lea bit por bit, hasta obtener 40bits de datos (32 bits; 16 para humedad y 16 para temperatura, los últimos 8 bits son para comparar lectura).

Para el sensor de temperatura, que es una sonda, modelo SEN-DS18B20, 3.5 a 5.5 Volts de C.D., encapsulado, a prueba de agua con punta de acero

inoxidable, con rangos de temperatura de -55 a $+125^{\circ}\text{C}$, y una precisión de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ en ± 0.03 seg. (**Figura 6. 18-a**). Se utilizó un MOSFET (TN2501), la conexión de alimentación (Vdd) conectada a tierra (GND) de la sonda y una resistencia de paro (pull-up) de 3 a 5 k Ω , con la finalidad de aumentar la corriente para la activación de la compuerta del MOSFET y la escritura en la memoria de EEPROM (Datos) del micro-controlador (**Figura 6. 18-b**).

Para el Anemómetro, Marca Hunter, Modelo Wind-Click, con alimentación a 24 Volts de C.A. y salida de 0 a 7.5 Volts de C.D. (**Figura 6. 19-a**), se empleó un puente de multi-potencia analógico DMOS tipo L6203 (**Figura 6. 19-b**), para el control de posición y giro del motor a la hora de enviar señales al micro-controlador. Para el Pluviómetro, Marca Hunter, Modelo Mini-Click, con alimentación a 24 Volts de C.A. y salida de 0 a 1 Volt de C.D. (**Figura 6. 20-a**), se emplearon dos amplificadores operacionales del tipo LM741 (**Figura 6. 20-b**), con la finalidad de incrementar el valor de voltaje de 0 a 5 volts de C.D. y poder enviar dicha señal al ADC (Convertidor Analógico a Digital) del micro-controlador.

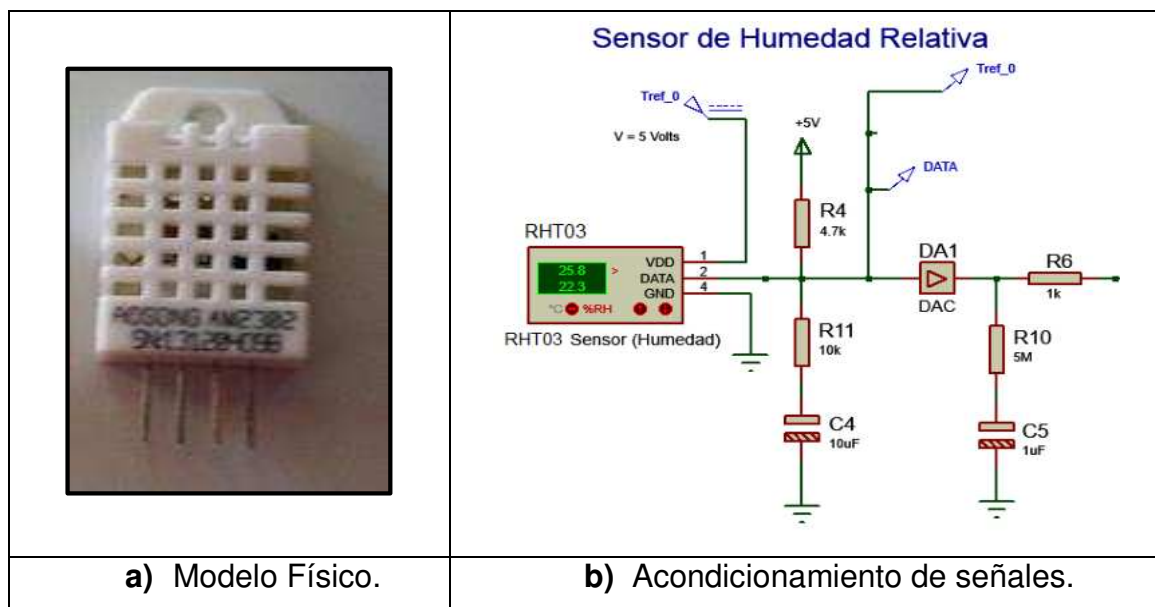


Figura 6. 17. Sensor de Humedad Relativa, modelo RHT03.

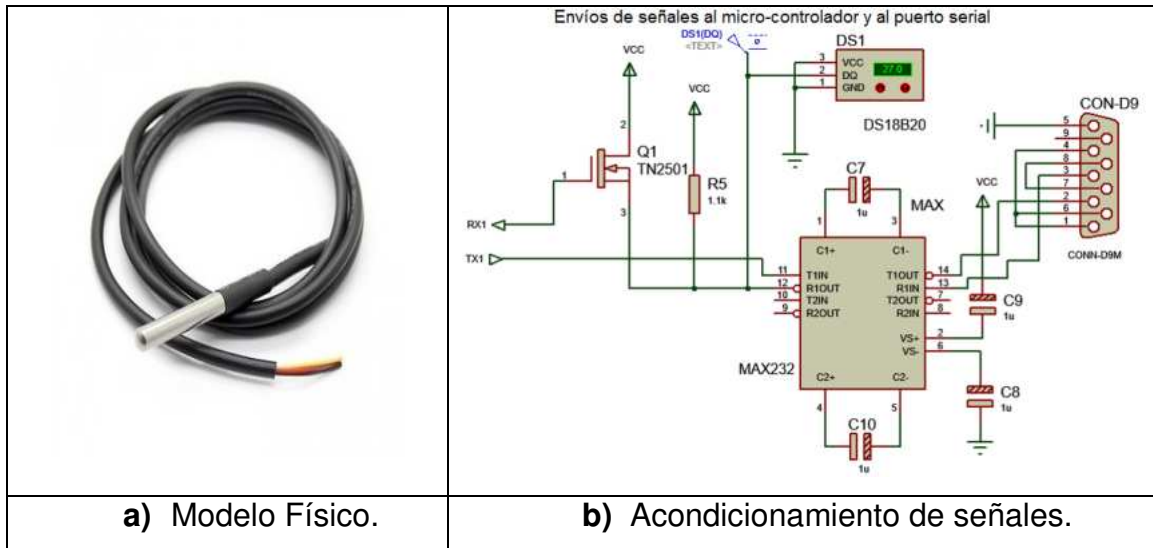


Figura 6. 18. Sensor de temperatura, modelo SEN-DS18B20

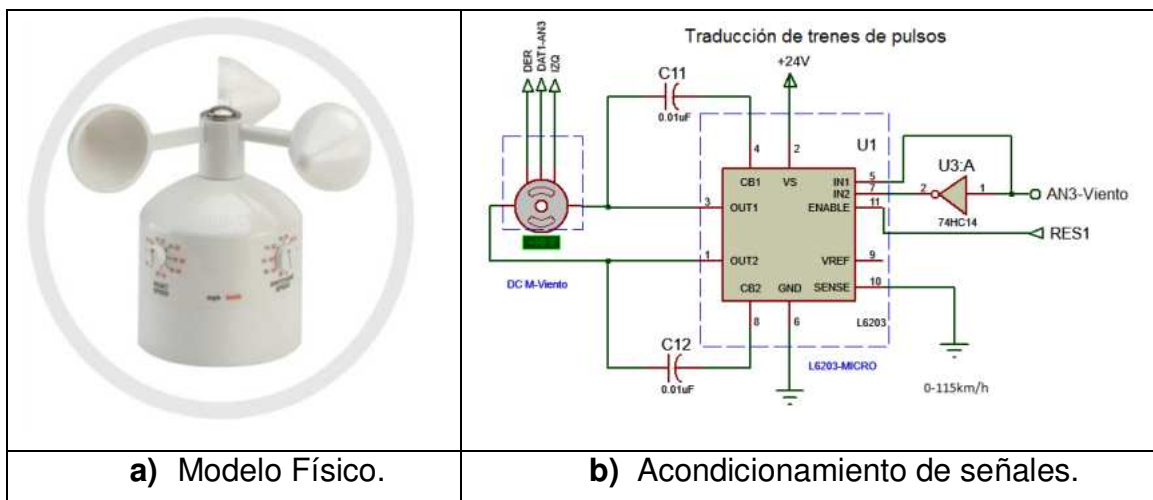


Figura 6. 19. Sensor de viento, modelo Wind Click.

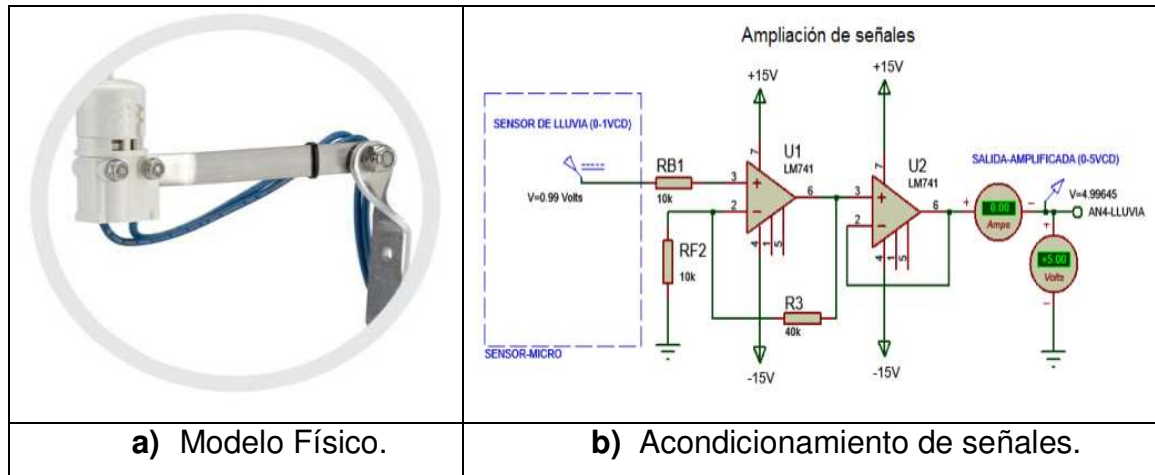


Figura 6. 20. Sensor de lluvia, modelo Mini-Click.

En casos especiales para el sensado de variables, las señales se enviaron de forma analógica al micro controlador para convertirlas de forma digital mediante el ADC (Convertidor Analógico a Digital) en la conversión de señales.

6.4.1.4. Envió de señales (sensores al micro controlador):

Para este proyecto se empleó un sensor de viento, Marca Hunter, modelo Wind-Click 24 Volts C.A., un sensor de lluvia, Marca Hunter, modelo Mini-Click 24 Volts C.A., adicionado con un panel de lluvia ShieldRain, dichos sensores se encargan de enviar señales analógicas al micro controlador (**Figura 6. 21**), de las condiciones externas del invernadero. Para el interior del invernadero se utilizó un sensor de Humedad Relativa de la familia RHT03 y modelo 22, además de un sonda para la temperatura modelo SEN-DS18B20, cuyas funciones son de recibir las magnitudes físicas de Humedad Relativa y Temperatura, respectivamente, para enviarla al micro controlador en forma de señales analógicas (**Figura 6. 21**).

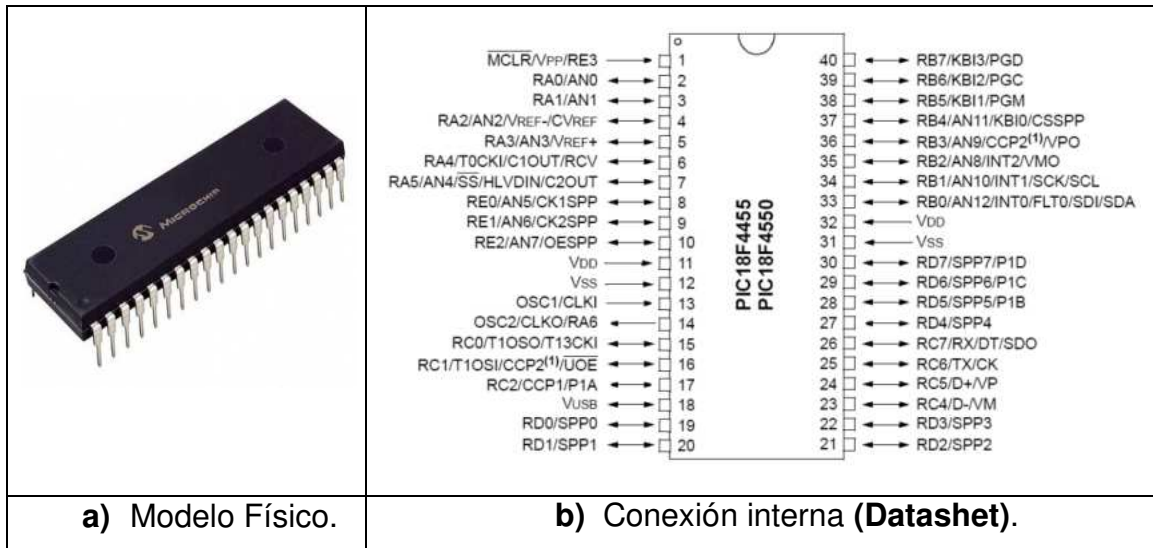


Figura 6. 21. Micro-controlador PIC18F4550.

6.4.1.5. Recepción de señales (micro controlador):

Las señales enviadas de los sensores amplificadas, son recibidas por la interfaz del micro controlador (tipo PIC18F4550), convirtiendo señales analógicas a digitales mediante un ADC (Convertidor Analógico a Digital), en especial en el puerto A. El micro-controlador se encarga de convertir las señales ya que dispone de 13 módulos que permiten convertir de análogo a digital (ADC) de 10 bits, incluyendo una interfaz de EEPROM de 256 Bytes con la capacidad de 2 KBits en RAM (Figura 6. 22), de esta forma el micro-controlador compara las señales digitales con los algoritmos programados para él envió de señales de arranque o cierre de actuadores (Gouda et al., 2014).

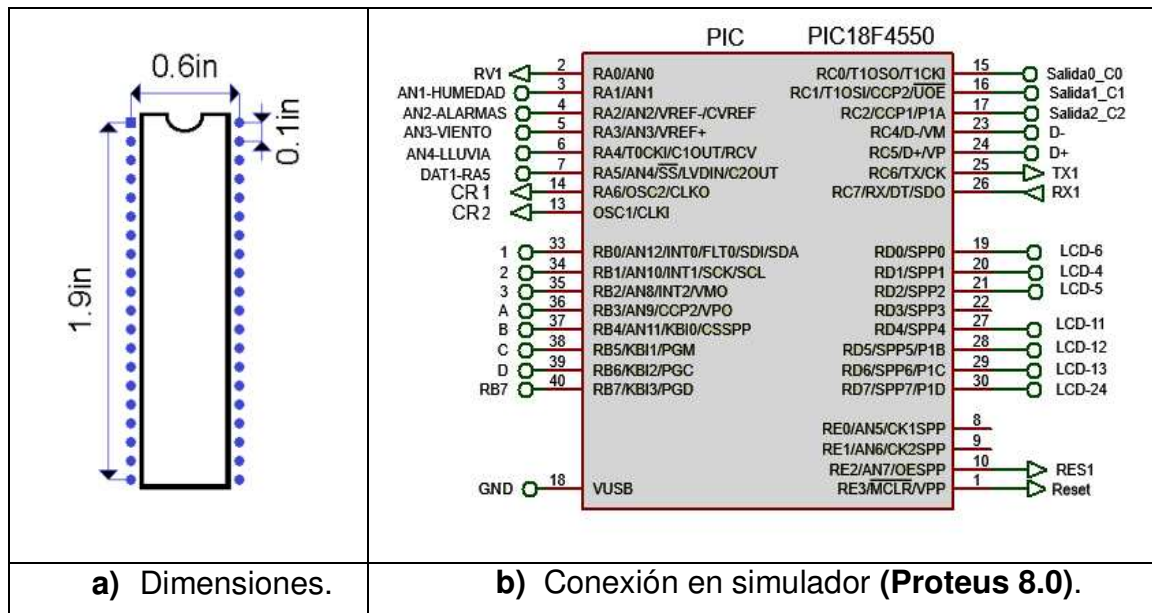


Figura 6. 22. Micro-controlador PIC18F4550.

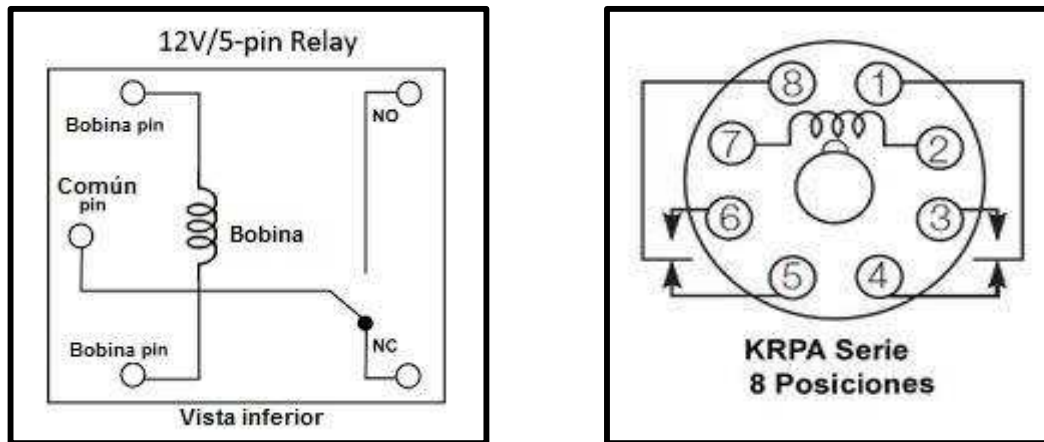
6.4.1.6. Comunicación bidireccional (sensor-actuador):

El micro controlador (PIC18F4550), sirvió de intermediario entre la comunicación bidireccional sensor-actuador, para mantener las condiciones de temperatura, humedad relativa, lluvia y viento, propuestas o ideadas por el usuario.

6.4.2 Diseño y construcción de tarjeta de control y etapa de potencia.

6.4.2.1. Etapa de potencia.

La función principal de esta interfaz de potencia, es proporcionar la corriente eléctrica necesaria para que las señales lógicas generadas por el micro controlador (PIC18F4550) puedan actuar sobre los elementos físicos (actuadores). Para la activación de motores sincrónicos, marca ERU-B2 a 24VCD, 100W de potencia y con 100 N-m de torque, esta se realizó mediante relevadores de control (relés) de 5 Volts de C.D. a 110VC.A. (Figura 6. 23-a), con el acoplamiento especial del empleo de opto acopladores tipo MOC3041 y relevadores de potencia (Figura 6. 23-b).



a) Relé de 5VCD a 110VCA

b) Relevador de potencia

Figura 6. 23. Interfaz de potencia (Esquema Eléctrico).

6.4.2.2. Tarjeta de control.

La tarjeta de control para este proyecto, incluyo los aditamentos y elementos electrónicos que requiere el micro controlador para su perfecto funcionamiento como lo es, el cristal de cuarzo de 50 MHz, el teclado matricial alfanumérico (Keypad), así como el sistema de filtraje (capacitores).

6.4.3 Construcción del sistema de alarma e información útil al usuario.

Para el proyecto se empleó un display LCD de 16x4 (**Figura 6. 24**), que estará conectado al micro controlador PIC18F4550, donde mostrara al usuario información relevante del control climático, así como el encendido de actuadores de protección electrónica (Eldhose et al., 2014; Attia, 2016). La información se reproducirá también en alarmas visuales como luces de colores, indicando al usuario parámetros ambientales del invernadero como:

- Actividad de algún motor sincrónico.
- Inicio y paro de lluvia.
- Exceso en el límite de la velocidad de viento.
- Interacción que hay entre temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.

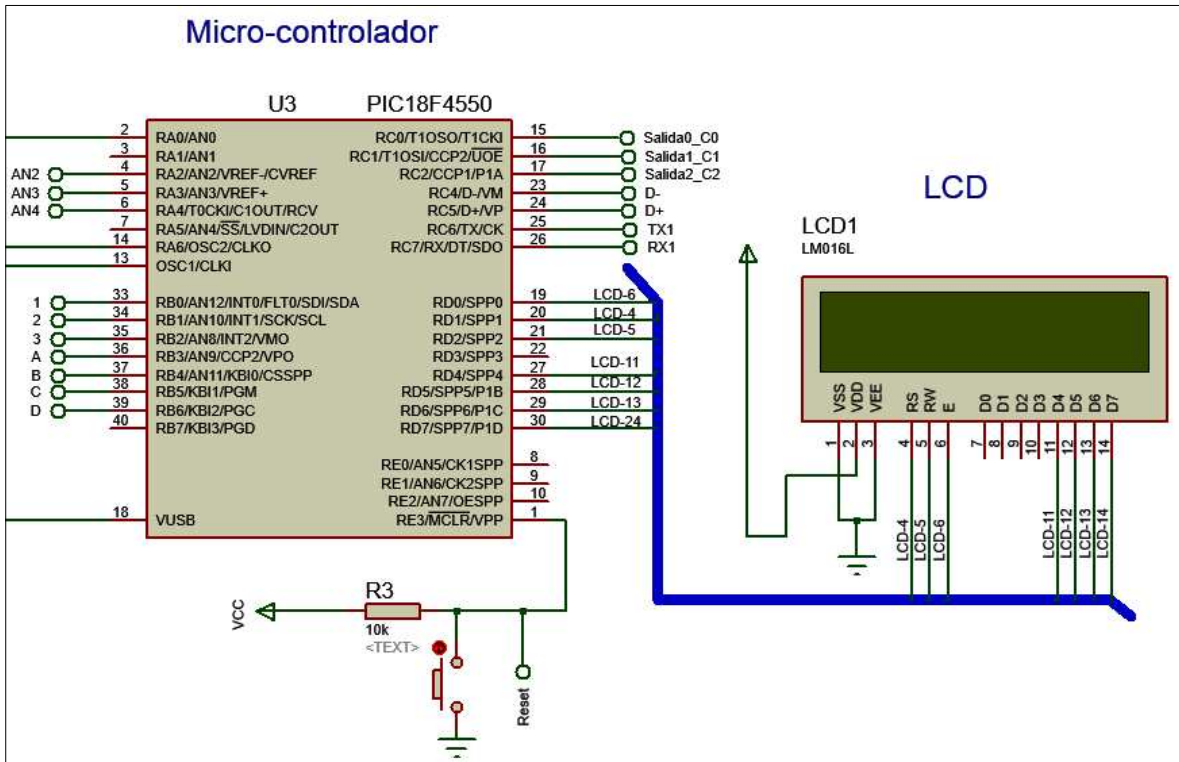


Figura 6. 24. Conexión del Display LCD de 16x4.

6.4.4 Acoplamiento de dispositivos en el gabinete de control.

El gabinete de control se construyó de manera robusta, capaz de soportar las condiciones ambientales del invernadero. En él se instaló, el sistema de alarmas, la tarjeta de control, la interfaz de potencia, el teclado matricial alfanumérico, una pantalla LCD de 16x4, y en lugares estratégicos se colocaron los sensores.

6.4.5 Instalación y verificación del funcionamiento del control.

Cuando ya se tenga el control climático, se efectuó la prueba de respuesta ante los cambios climáticos como lluvia y viento, verificando los tiempos de respuesta de los actuadores para realizar posibles ajustes o calibración necesaria.

6.5 Colocación de protección eléctrica y verificación de cortinas cenitales.

6.5.1 Cortinas cenitales:

Colocación de rieles para las ventanas cenitales y montaje de motores sincrónicos.

Se realizó el cableado de los motores sincrónicos a la etapa de potencia y protección eléctrica.

6.5.2 Protección eléctrica:

Constó de un termo break (Marca IGEA, con 2 Unidades CAT. CC025, a 30 Amperes Máxima con 60Hz y tensión a 120 o 240 Volts), además de un gabinete metálico de 60x40 cm., donde contiene un riel para el montaje de contactores, otro para los breaks (20 Amperes), que servirán al sistema de protección contra corto o falla eléctrica, además de que proporcionarán la corriente adecuada a cada motor sincrónico.

6.6 Pruebas o validación funcional.

En el mercado existen instrumentos de medición que sensan temperatura, humedad relativa, viento y lluvia, la desventaja de ellos, radica en que son dispositivos cerrados, es decir que no sirven para un proceso de automatización, ya que solo son instrumentos que indican las variables a medir y estas son desplegadas en pantalla.

La validación se realizó con instrumentos de medición como es el caso de instrumentos Fluke (Digital Fluke 922 y Fluke 62-Max.+ temp), en la que se comparó las variables sensadas por la implementación del control desarrollado, con respecto a variables medidas por el instrumento.

7. ANALISIS COSTO-BENEFICIO.

Es una metodología que se emplea para evaluar los costos y beneficios de un proyecto (Eq. 7. 1), con el objetivo de determinar si el proyecto; es rentable o viable financieramente producirlo, y en qué medida. Los costos y beneficios deben ser cuantificados y expresados en unidades monetarias. Así, el punto de equilibrio, que es el punto en el cual, se determina cuantos prototipos se deben vender, en donde los ingresos totales son iguales a los costos totales (Eq. 7. 2).

$$B = I - Cv - Cf \quad (\text{Eq. 7. 1})$$

$$Pe = \frac{Cf}{P - Cv} \quad (\text{Eq. 7. 2})$$

Dónde: **B** son los beneficios en la operación, **I** los Ingresos, **Cv** el costo variable, **Cf** el costo fijo, **Pe** el punto de equilibrio y **P** el precio del producto. Una forma directa de determinar los ingresos es mediante el producto del precio de venta (**Pv**) por la cantidad de unidades vendidas **Q** (Eq. 7. 3). Y los costos variables se calculan como el costo variable por unidad (**Cvu**) por la cantidad de unidades vendidas **Q** (Eq. 7. 4).

$$I = (Pv) * (Q) \quad (\text{Eq. 7. 3})$$

$$Cv = (Cvu) * (Q) \quad (\text{Eq. 7. 4})$$

Incluyendo las ecuaciones matemáticas (Eq. 7. 3) y (Eq. 7. 4), en la ecuación (Eq. 7. 1), podemos decir que la utilidad en la operación (**B**), está dada por la expresión (Eq. 7. 5).

$$B = [(Pv) * (Q)] - [(Cvu) * (Q)] - Cf \quad (\text{Eq. 7. 5})$$

Una forma alternativa de calcular el punto de equilibrio, es mediante la ecuación (Eq. 7. 5), donde la utilidad de la operación **B = \$ 0.0**, para obtener la ecuación (Eq. 7. 6).

$$\frac{Cf}{(Pv-Cvu)} = Q \quad (\text{Eq. 7. 6})$$

7.1 Análisis de la inversión.

Es el proceso mediante el cual se determina la rentabilidad de la inversión o la comparación de dos o más alternativas de la inversión, dicho análisis requiere de cuatro tipos de información (), que son:

- a) El ingreso neto de la inversión.
- b) Su costo.
- e) El valor final o valor de recuperación de la inversión.

En esta sección se incluirá la lista de precios de los materiales usados (**Tabla 7.1**), así como las gráficas, que muestren el beneficio que otorgan dichos materiales en la construcción del control climático, con respecto a controles climáticos existentes en el mercado.

Tabla 7.1 Lista de materiales usado en la fabricación del Control Climático.

Material	Cantidad	Precio (\$)	%IVA	Total (\$)
ADAPTADOR DB9 PLUG A PLUG	1	34.48	16%	40.00
ADAPTADOR DE PANTALLA LCD 16X2 SERIAL I2C PCF 8574	2	112.2	16%	260.30
ARCOS PTR GALVANIZADO DE 11/2X11/2 C-14	3	270	16%	939.60
ARMARIO MET.C/PLACA DE MONT, AEM_30x25cm	1	575.16	16%	667.19
ARRANCADOR DOBLE (BREAKS)	1	290.95	16%	337.50
BALERO 607	2	100	16%	232.00
BASE P/LAMPARA PILOTO VERDE DIRECTA LED INC.TELEME	2	181.48	16%	421.03
BOTON DOBLE ILU VE/AM/RO	1	230	16%	266.80
CAB LECTOR DE MEMORIAS P TABLET Y SMARTP	1	22	16%	25.52
CABEZA P/PULSADOR ILUMINADO VERDE HARMONY TELEMEC	2	181.48	16%	421.03
CABLE THHWLS #12 100M 2 COLORES 300907,37512	1	709.85	16%	823.43
CAJA 7.6 x 5 x 2.7 CM	2	67.22	16%	155.95
CAJA DE PLASTICO 15X9X5	2	75.86	16%	176.00
CAPACITOR CERAMICO 100NF 0.1MF	2	1.72	16%	3.99
CAPACITOR CERÁMICO 22pf y 470pf	3	7.76	16%	27.00
CAPACITOR ELECTROLITICO 0.1/50V	2	3.45	16%	8.00
CAPACITOR ELECTROLITICO 10/50	1	1.15	16%	1.33
CAPACITOR ELECTROLITICO 4700/50	2	57.76	16%	134.00

CINTA DE AISLAR 18M	2	32	16%	74.24
COMEX 100 VIVID B1 024-02 Y TINER 1L	1	83.63	16%	97.01
CONECTOR 1/2" CABLE U/RUDO PVC NEGRO	2	22.42	16%	52.01
CONECTORES (AISLANTES TÉRMICOS) Y CINTA VULCANIZABLE	1	203.23	16%	235.75
CONTACTOR CON 1NA+1NC TAM S0 25A 120V	2	1535.27	16%	3561.83
CONVERTIDOR RS232-USB	1	45	16%	52.20
CORTA CÍRCULOS BIMETÁLICOS 1-1/8'	1	66.38	16%	77.00
CORTA CÍRCULOS BIMETÁLICOS 3/4'	1	51.72	16%	60.00
CRISTAL DE 50 MHZ	1	65	16%	75.40
DRIVER MOTOR 4 C PUSH-PULL C/DIODOS	3	153.88	16%	535.50
ESTRUCTURA PLÁSTICA GABINETE (TAMAÑO 7X23)	1	75	16%	87.00
FUENTE DE SWITCHEO 320W 24VDC/12.5 ^a	1	1443.1	16%	1674.00
KIT DE 21 CABLES HEMBRA-MACHO	2	67.24	16%	156.00
KIT DE CABLES HEMBRA 21CM 40PZS	1	56	16%	64.96
LCD 16X4 RGB 5V	1	202.59	16%	235.00
MASTER PROG PROGRAMADOR DE PIC'S.	1	600	16%	696.00
MOD 1 RELAY 5V NIVEL BAJO	2	103	16%	238.96
MODULO MICROSD	1	90	16%	104.40
MOTO REDUCTOR SINCRÓNICO (DC24V)	3	3234	16%	11254.32
PIC 18f4550	1	134	16%	155.44
PIJA PUNTA DE BROCA 1 C/RONDANA	1	70.69	16%	82.00
PLACA FENOLICA 690-455 Y PERFORADA	2	30.15	16%	69.95
POTENCIOMETRO 5K CH	2	19.42	16%	45.05
PTR GALVANIZADO DE 11/2X11/2 C-14	1	349	16%	404.84
PUENTE RECTIFICADODE ES. 50A 3.5-32V 50R1D	1	517.24	16%	600.00
PUENTES PARA PROTO TS100	1	56	16%	64.96
PUSH-BOTTOM	1	5	16%	5.80
REDONDO SOLIDO DE 5/8	0.5	83	16%	48.14
REGULADOR DE VOLTAJEMC7805	2	35	16%	81.20
RELAY 120V 10A 8 PINES REDONDOS CON BASE	2	517.24	16%	1200.00
RELE UNIVERSAL 2 CO CILINDRICO	1	59.85	16%	69.43
RELEVADOR BIMETALICO 20 - 25A; TAM. S0	2	1161.46	16%	2694.59
RESISTENCIA 10K 1/2W	8	3.52	16%	32.67
RESISTENCIA 120 OHM 1/2W	2	0.88	16%	2.04
RESISTENCIA 1K 1/2W	6	2.64	16%	18.37
RESISTENCIA 22K 1/2W	4	1.76	16%	8.17
SELECTOR PAL. CORTA 3 POSICIONES FIJAS	1	177.408	16%	205.79
SENSOR DE LLUVIA	1	380	16%	440.80
SENSOR DE TEMP Y HUMEDAD	1	178.45	16%	207.00
SENSOR DE VIENTO WIND CLICK	1	1843.6	16%	2138.58
SILICON SELLADOR	1	28.45	16%	33.00
SIMPLE SOCKET (CYLIND)MIXED TELEMEC	1	32.27	16%	37.43
SOLDADURA TUBO SOL60-020 STEREN	1	27.59	16%	32.00
TCA.HEX.G2.NC.GAL...5/16	1	11.8	16%	13.69
TERMINAL DE 3 TORMILLOS MED	3	12.55	16%	43.67
TERMINALES PARA CABLE CAL 6	6	51.72	16%	359.97
TIRA DE PINES 90° Y 45°	2	32	16%	74.24
TORNILLO MAQ CAB RED RAN 8-32X1 5P	1	89.57	16%	103.90
TRANSFORMADOR 24 V 3 A	1	150.82	16%	174.95

	Total	33,719.93
--	--------------	------------------

7.2 Punto de Equilibrio (P.E.).

En esta sección se analiza el punto en el que los Ingresos totales se igualan a los costos totales (P.E.), considerando que vendiendo por encima de dicho punto se obtiene beneficio y vendiendo por debajo se obtiene pérdida.

7.2.1 Balance de Precios y Costos Totales.

Consideraremos primero el análisis de costo de producir una unidad, como prototipo de la invención (**Tabla 7.2**), donde para el análisis de la inversión se requiere conocer también, los costos fijos de producción (**Tabla 7.3**) y los costos variables (**Tabla 7.4**), para finalmente calcular el Punto de Equilibrio ($P.E. = CF/PV - C.V.$), dónde: CF= Costos Fijos, CV= Costos Variables y PV= Precio de Venta.

Tabla 7.2 Costos de producir un Control Climático.

Materia prima	Cantidades (Construidas/Mes)	Precio Unitario	Por Mes (\$)
Control Climático	4 Piezas	33,719.93	134,879.72
Costo de producción por unidad (1 pieza)			\$ 33,719.93

Tabla 7.3 Costos Fijos de producción de un Control Climático.

Costos Fijos	Depreciación anual (%)	Anual	Mensual (\$)
Local	0%	12,000	1,000
Electricidad	0%	12,000	1,000
Agua	0%	6,000	500
Depreciación del Equipo	20%	20,000	334
Equipo de transporte	25%	20,000	417
Edificio	5%	20,000	84
Equipo de cómputo	33%	10,000	275
Total			1.612





Tabla 7.4 Costos Variables en la producción de un Control Climático.

Costos Variables	Cantidad		Mensual (\$)
Materia Prima	4	33,719.93	134,879.72

Mano de Obra directa	7Días(44Hrs)	\$50 horas/hombre	2,200
Mano de Obra Indirecta		1,000	1,000
Gastos de papelería, teléfono, etc.			2,000
Total			0.212

A partir de las tablas **Tabla 7.1**, **Tabla 7.2**, **Tabla 7.3** y **Tabla 7.4**, se concluye la **Tabla 7.5**, que incluye: el precio de venta, el costo unitario y los gastos fijos, necesarios para realizar la gráfica del punto de equilibrio de la siguiente sesión, así como también la comparación de diferentes módulos de control en el mercado que usan diferentes variables, para climatizar un invernadero.

Tabla 7.5 Cálculos realizados de egresos e ingresos anuales y mensuales así como la comparación de controles climáticos de otras empresas.

Concepto	Cálculo o Cantidad	Resultado
Egresos Anuales totales	$(3,610 \times 12) + (140,079.72 \times 12)$	\$ 1,724,276.64
Ingresos Mensuales	$(4Pzs) * 33,719.93$	\$ 134,879.72
Costos fijos		\$ 3,610.00
Costo variable	(Treinta y Tres Mil Setecientos Diez y Nueve, punto Noventa y Tres Pesos)	\$ 33,719.93
Costo unitario	(Treinta Mil Pesos)	\$ 30,000.00
Control Climático	Marcas extranjeras RAIN BIRD, HUNTER	\$ 85,000 y \$ 125,000 (PROAIN y X-Core)
	PRIVA Sistemas de Clima	187,700.86
	CLIMATEC Climatizador Ambiental	134,600.12
	ININSA Sistemas climáticos	87,600.10
	CONTROL PROPIO (CIRYC) Control de condiciones climáticas temperatura, humedad, viento y lluvia	38,500.12
Para ser rentable: Se necesita distribuir, al menos 0.97 unidades al mes para alcanzar el equilibrio y a partir de una unidad vendida.		

7.2.2 Gráfica del punto de equilibrio.

La elaboración y diseño para la gráfica del Punto de Equilibrio (P.E.), se expone en la **Tabla 7.6**, donde se incluye los datos necesarios para determinar las utilidades y pérdidas en la inversión, y como resultado obtendremos la **Figura 7. 1**, que es la gráfica del punto de control donde se incluye: ventas, costos variables, costos fijos, costos totales, así como el beneficio obtenido en la creación de un Control Climático.

Tabla 7.6 Datos iniciales para la realización de la gráfica P.E.

Datos Iniciales		Datos para el gráfico		Perdida	P.E.	Utilidad
Precio Venta	33,72	Ventas (Q)	0	0	1	1
Coste Unitario	0	Ventas (\$)	0	16,362	32,723	49,085
Gastos Fijos Mes	3,610	Costo Variable (CV)	0	14,557	29,113	43,670
Punto de Equilibrio	1.0	Costo Fijo (CF)	3,610	3,610	3,610	3,610
Ventas Equilibrio (\$)	32,72	Costo Total (CT)	3,610	18,167	32,723	47,280
		Beneficio	-3,610	-1,805	0	1,805
Para alcanzar el punto de equilibrio se debe vender 0.970 unidades por mes						

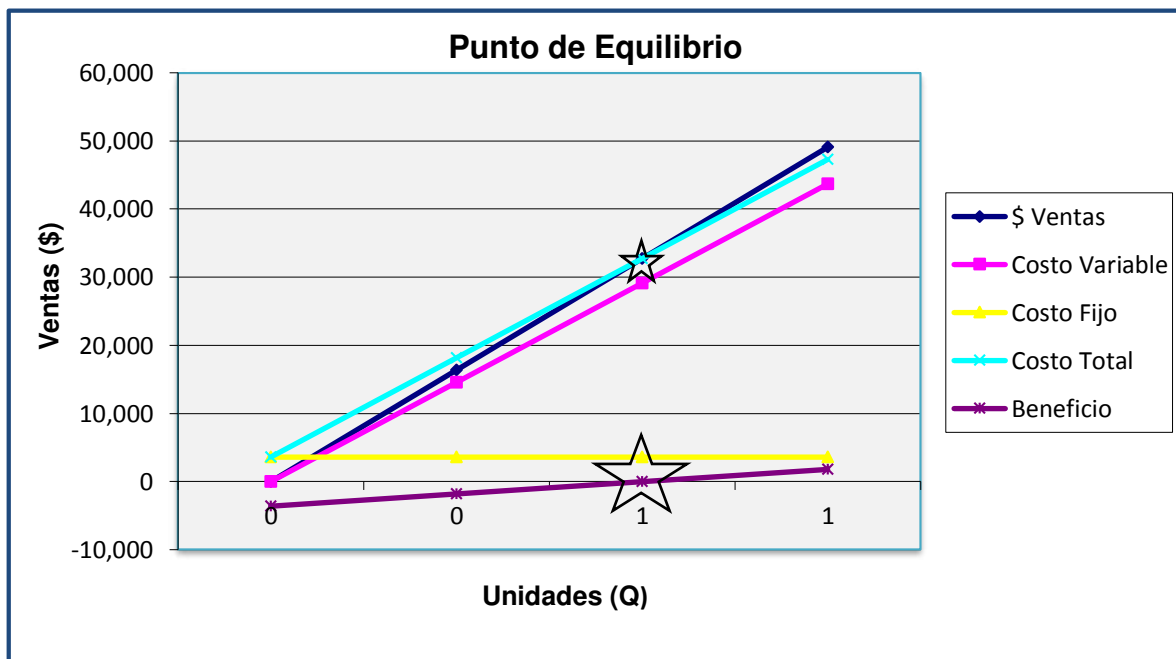


Figura 7. 1. Gráfica del Punto de Equilibrio.

CAPÍTULO V

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Del diseño del controlador tipo PID-Difuso Incremental.

Se emplearon las reglas de lógica difusa en lenguaje C++, para programar el microcontrolador de la familia PIC, número 550, donde ref_{in1} , son las condiciones ideales de entrada del sistema (Temperatura (T_{in}), Humedad Relativa (HR_{in}), Viento (V_{in}) y Lluvia (Ll_{in})) y ref_y es la actual temperatura, humedad relativa, lluvia y viento que el sistema detecta y retroalimenta al lazo cerrado (**Figura 8. 1**).

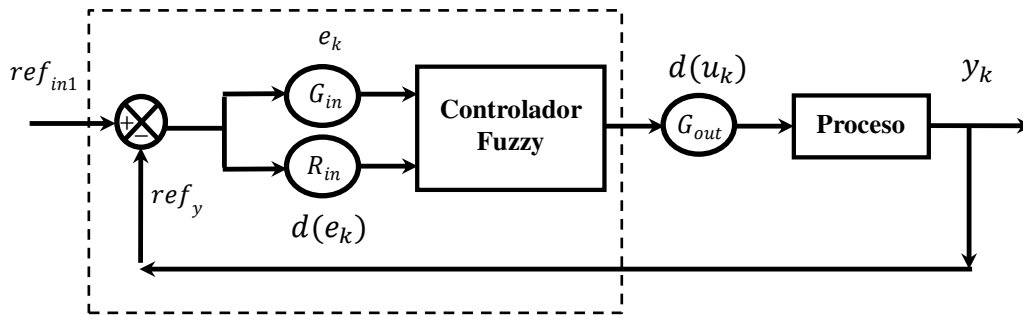


Figura 8. 1. Sistema climático, con linealización y desacoplamiento para control.

La **Figura 8. 1**, muestra un modelo no lineal, que incluye tiempos muertos, linealización y compensador de desacoplamiento, además para regular las condiciones climáticas se empleó un controlador PID ya que este controlador, tienen acción integral, más tiempo muerto, así, el error (e_k), la tasa de cambio del error (de_k), la variable manipulada $d(u_k)$, y la salida del proceso y_k , incluyendo las ganancias G_{in} , R_{in} y G_{out} , del sistema, se simplificaron (**Figura 8. 2**).

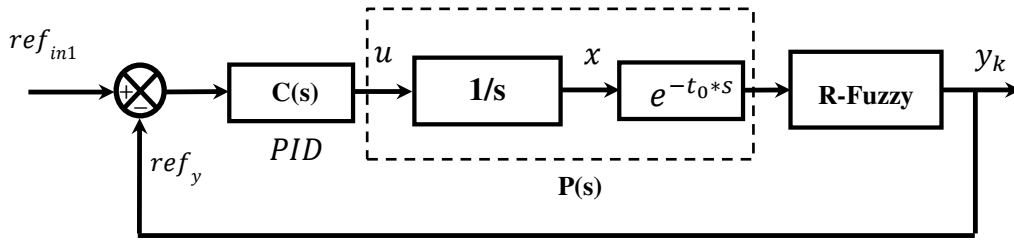


Figura 8. 2. Control difuso, usando el método PID.

De esta forma, de la **Figura 8. 2** se calcula la función de transferencia estándar $C(s)$ y el proceso de transferencia de funciones, para el tiempo muerto $P(s)$ de un controlador PID, incluyendo las reglas de control difuso como se muestra en las ecuaciones: **Eq. 8. 1** y **Eq. 8. 2**, respectivamente.

$$C(s) = K_p \frac{1 + \frac{1}{T_i s + T_d s}}{T_f s + 1} \quad (\text{Eq. 8. 1})$$

$$P(s) = \frac{K}{s * e^{-t_0 * s}} \quad (\text{Eq. 8. 2})$$

Donde K_p, T_i, T_d, T_f , son los parámetros del controlador *PID*; K la ganancia y t_0 el tiempo muerto del proceso integral, así, la aproximación de primer orden del tiempo muerto $e^{-t_0 * s}$, se obtiene en la **Eq. 8. 3**.

$$e^{-t_0 * s} = \frac{1 - \frac{1}{2 * s}}{1 + \frac{1}{2 * s}} \quad (\text{Eq. 8. 3})$$

Para finalmente llevar nuestro sistema hasta un controlador PID-Difuso Incremental, que es básicamente la combinación de: un controlador proporcional, un controlador integral y un controlador derivativo, esto se expresa en la **Eq. 8. 4**, en términos matemáticos y la **Eq. 8. 5**, en términos de Laplace (**Figura 8. 3**).

$$ref(in) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d(e)}{dt} \quad (\text{Eq. 8. 4})$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s + (R - Fuzzy) \quad (\text{Eq. 8. 5})$$

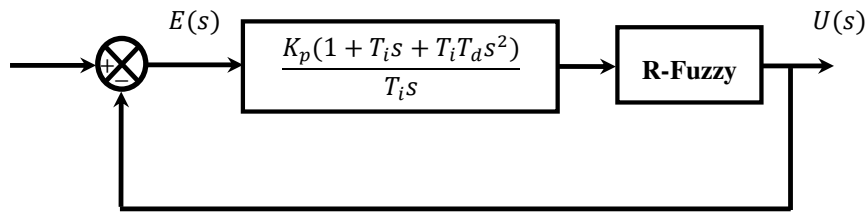


Figura 8. 3. Controlador PID-Difuso Incremental.

8.2 Tiempos de muestreo y modelado dinámico de la planta.

Para identificar los tiempos de muestreo y la dinámica de la planta, se dio un escalón a cada una de las variables de entrada, con la finalidad de analizar, el tiempo de inicio del pulso (t_{imp}), así como el tiempo de retardo (t_0) de las variables de salida, en especial las internas (temperatura y humedad relativa), que se muestra en la **Tabla 8.1**, donde se muestran los resultados los datos tomados del comportamiento de la humedad relativa y temperatura, **Figura 8. 4** y **Figura 8. 5**.

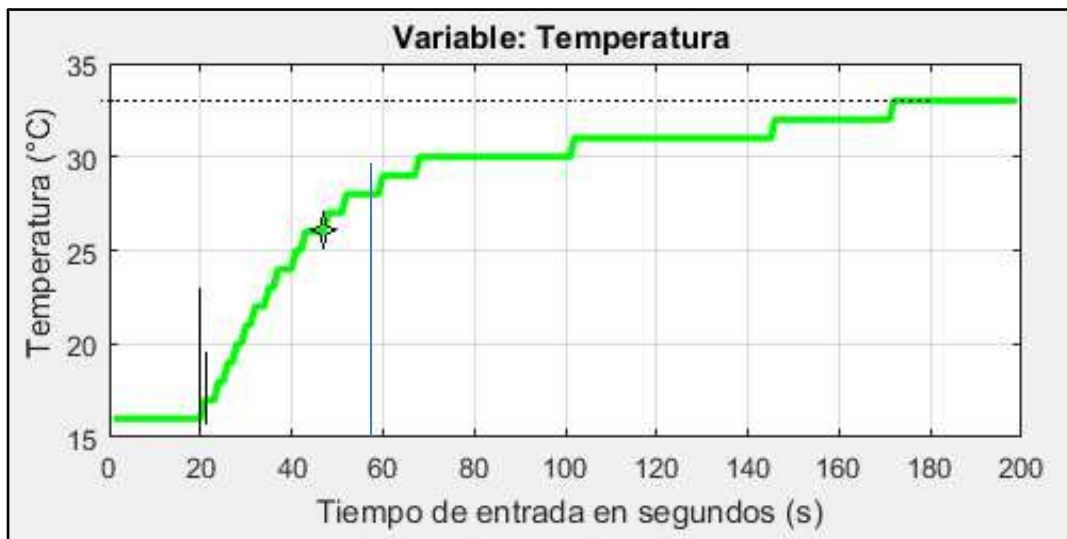


Figura 8. 4. Gráfica del comportamiento para la Temperatura (200 s).

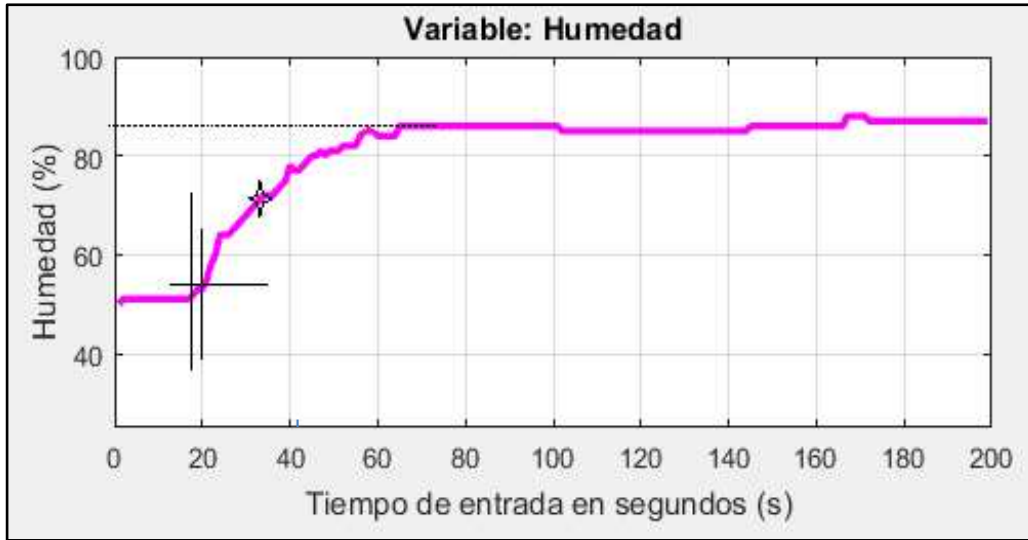


Figura 8. 5. Gráfica del comportamiento para la Humedad Relativa (200 s).

Tabla 8.1 Resultados del cálculo para la función de transferencia para la temperatura y la humedad relativa (FTT y FTHR).

Descripción	Variable Temperatura	Variable Humedad R.
Tiempo de inicio del pulso (t_{imp}).	$t_{imp} = 20s$	$t_{imp} = 18s$
Retardo (t_0).	$t_0 = 1s$	$t_0 = 2s$
Valor PWM introducido ($u(t)$), bits=12 Volts.	$u(t) = 128$	$u(t) = 128$
Temperatura o humedad inicial (T_0, H_0).	$T_0 = 16^\circ C$	$H_0 = 50$
Temperatura o humedad final (T_f, H_f).	$T_f = 33^\circ C$	$H_f = 88$
Variación de la Temp. o Humedad (ΔT v ΔH)	$\Delta T = T_f - T_0 = 17^\circ C$	$\Delta H = H_f - H_0 = 38$
Ganancia $\left[K_T = \frac{\Delta T}{u(t)} \text{ v } K_H = \frac{\Delta H}{u(t)} \right]$	$K_T = \frac{\Delta T}{u(t)} = \frac{17}{128}$	$K_H = \frac{\Delta H}{u(t)} = \frac{38}{128}$
Temperatura o humedad de transferencia ($T(\tau)$).	$T(\tau) = 0.63\Delta T + T_0 = 0.63(17)+16 = 26.7$	$H(\tau) = 0.63\Delta H + H_0 = 0.63(38)+50 = 73.94$
Instante de tiempo donde aparece $T(\tau)$ en la gráfica (t).	$t = 48s$	$t = 34s$
Valor del tiempo de transferencia (τ)	$\tau = t - t_{imp} = 48 - 20 = 28s$	$\tau = t - t_{imp} = 34 - 18 = 16s$

Así la función de transferencia calculada para la temperatura y la humedad relativa se muestra en las ecuaciones [Eq. 8. 6](#) y [Eq. 8. 7](#), en el dominio de **S**, en tiempo continuo.

$$\mathbf{u}(s)_T = \frac{\frac{\Delta T}{u(t)}}{(\tau*s)+1} e^{-t_0*s} \quad (\text{Eq. 8. 6})$$

$$\mathbf{u}(s)_{HR} = \frac{\frac{\Delta H}{u(t)}}{(\tau*s)+1} e^{-t_0*s} \quad (\text{Eq. 8. 7})$$

8.3 Ecuación calculada para programar el microcontrolador.

Como se tienen un controlador de tipo digital, se tuvo que discretizar la planta del dominio de **S** a **Z**, mediante la transformada de **Z**, empleando un retenedor de orden cero, ROC (**Eq. 8. 8**). La pruebas fueron realizadas en periodos de muestreo de 20 milisegundos a 2 segundos, que de acuerdo al desempeño de la dinámica de la planta, el mejor resultado fue de diez milisegundos (T), considerando también el tiempo muerto ($t_0 = 1$), **Tabla 8.1**.

$$\mathbf{u}(z)_T = \left(\frac{z-1}{z}\right) z^{-N} \mathit{Tranf} \left[\frac{\mathbf{u}(s)_T}{s} \right] \quad (\text{Eq. 8. 8})$$

$$N = \frac{t_0}{T} = \frac{1}{0.01} = 100 \quad (\text{Eq. 8. 9})$$

La **Eq. 8. 9**, muestra el cálculo de la variable N, donde relaciona el tiempo muerto entre el tiempo de muestreo, y así de esta forma en las ecuaciones **Eq. 8. 10** y **Eq. 8. 11** se discretiza la planta del dominio de S a Z, con valores de $s = 3.32$ para la temperatura y la humedad relativa respectivamente, resultando las ecuaciones **Eq. 8. 12** y **Eq. 8. 13**.

$$\mathbf{u}(z)_T = \frac{17}{128} \left(\frac{z-1}{z}\right) z^{-100} \mathit{Tranf} \left[\frac{e^{-1s}}{s(28s+1)} \right] \quad (\text{Eq. 8. 10})$$

$$\mathbf{u}(z)_{HR} = \frac{38}{128} \left(\frac{z-1}{z}\right) z^{-200} \mathit{Tranf} \left[\frac{e^{-2s}}{s(16s+1)} \right] \quad (\text{Eq. 8. 11})$$

$$\mathbf{u}(z)_T = 0.133 \left(\frac{z-1}{z}\right) z^{-100} \mathit{Tranf} \left[\frac{0.036}{s(s+0.036)} \right] \quad (\text{Eq. 8. 12})$$

$$\mathbf{u}(z)_{HR} = 0.297 \left(\frac{z-1}{z}\right) z^{-200} \mathit{Tranf} \left[\frac{0.063}{s(s+0.063)} \right] \quad (\text{Eq. 8. 13})$$

Realizando las transformaciones de las ecuaciones [Eq. 8. 12](#) y [Eq. 8. 13](#), se obtiene las ecuaciones [Eq. 8. 14](#) y [Eq. 8. 15](#), en función de Z .

$$u(z)_T = 0.133 \left(\frac{z-1}{z} \right) z^{-100} \left[\frac{(1 - e^{-0.00036})z}{(z-1)(z - e^{-0.00036})} \right] \quad (\text{Eq. 8. 14})$$

$$u(z)_{HR} = 0.297 \left(\frac{z-1}{z} \right) z^{-200} \left[\frac{(1 - e^{-0.00063})z}{(z-1)(z - e^{-0.00063})} \right] \quad (\text{Eq. 8. 15})$$

Simplificando se llega a las ecuaciones [Eq. 8. 16](#) y [Eq. 8. 17](#), en función de Z , en tiempo discreto.

$$u(z)_T = \frac{4.7 \times 10^{-5}}{z^{101} - 0.999 z^{100}} \quad (\text{Eq. 8. 16})$$

$$u(z)_{HR} = \frac{1.8 \times 10^{-4}}{z^{201} - 0.999 z^{200}} \quad (\text{Eq. 8. 17})$$

Sintonización del controlador PID-Incremental, empleando IAE (la Integral del valor Absoluto del Error), [Eq. 8. 18](#), que consistirá en encontrar los parámetros del controlador que minimizara el error, al controlar un proceso de primer orden con tiempo muerto, e incluyendo los parámetros de control PID K_p T_i y T_d .

$$\int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (\text{Eq. 8. 18})$$

8.4 Sintonización del controlador PID-Difuso Incremental.

La sintonización de las ganancias del controlador (PID-Difuso Incremental) en nuestro sistema, se realizó usando las ecuaciones [Eq. 8. 19](#) y [Eq. 8. 20](#), obtenidas de la respuesta de la función de transferencia de primer orden en tiempo continuo S , con los datos de adquisición de la sonda de temperatura y el sensor de humedad relativa.

$$u(s)_T = \frac{\frac{17}{128}}{(28*s)+1} e^{-s} \quad (\text{Eq. 8. 19})$$

$$u(s)_{HR} = \frac{\frac{38}{128}}{(16*s)+1} e^{-2s} \quad (\text{Eq. 8. 20})$$

Considerando los parámetros de control de temperatura-humedad en la sintonización de un controlador PID-difuso incremental, por el método de Ziegler-Nichols, se concluye que: $K_p = 1.2 \tau / (K t_o)$, $T_i = 2 t_o$ y $T_d = t_o/2$, donde, τ es el tiempo de transferencia, K la ganancia y t_o es el tiempo de retardo o tiempo muerto, los resultados de dichos parámetros de control se muestran en la **Tabla 8.2**, que muestra los cálculos y valores a introducir en Simulink de MATLAB.

Tabla 8.2 Valores de los parámetros de control en temperatura y humedad relativa, para la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental.

Expresión matemática	PID-Difuso Incremental		Implementación en Simulink de MATLAB.
$K_p = \frac{1.2 * \tau}{K t_o}$	Temperatura	$K_p = \frac{1.2 * \tau}{K t_o} = \frac{1.2(28)}{0.133(1)} = 252.99$	$P = K_p = 252.99$
	Humedad R.	$K_p = \frac{1.2 * \tau}{K t_o} = \frac{1.2(16)}{0.297(2)} = 32.34$	$P = K_p = 32.34$
$T_i = 2 t_o$	Temperatura	$T_i = 2 t_o = 2(1) = 2$	$I = K_p/T_i = 126.49$
	Humedad R.	$T_i = 2 t_o = 2(2) = 4$	$I = K_p/T_i = 8.09$
$T_d = \frac{t_o}{2}$	Temperatura	$T_d = \frac{t_o}{2} = \frac{1}{2} = 0.5$	$D = K_p T_d = 126.49$
	Humedad R.	$T_d = \frac{t_o}{2} = \frac{2}{2} = 1$	$D = K_p T_d = 32.34$

Con los valores calculados de los parámetros de control PID, se realizó la sintonización en Simulink de Matlab; en la **Figura 8. 8** y **Figura 8. 9** se realizó el diagrama esquemático para la temperatura y la humedad relativa respectivamente, con el fin de evaluar el desempeño de dichos parámetros.

En **Figura 8. 7** y **Figura 8. 10**, se muestra los resultados en Simulink de Matlab, para la función de transferencia en la temperatura y humedad relativa respectivamente, sin aplicar los parámetros de control PID y en la **Figura 8. 8** y **Figura 8. 11**, a la función de transferencia de temperatura y humedad relativa respectivamente se aplican los parámetros de control.

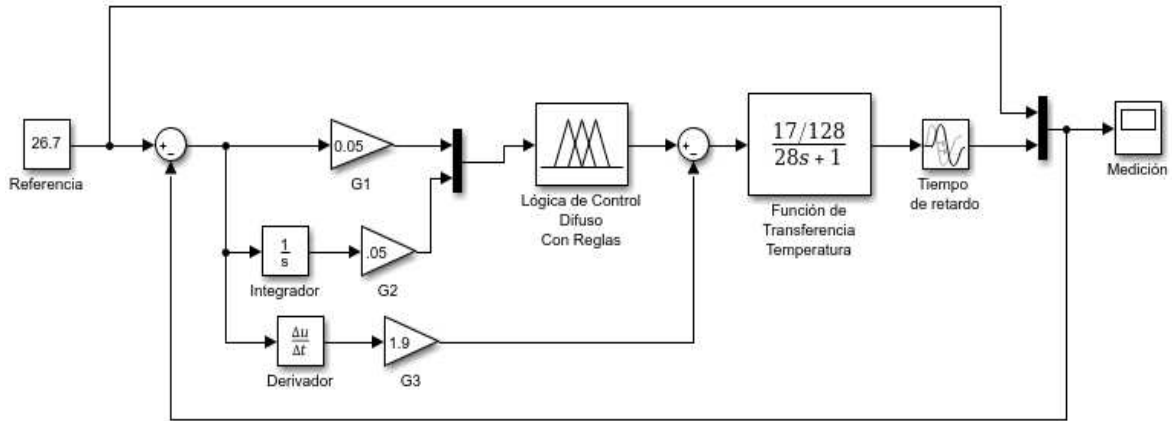


Figura 8. 6. Diagrama esquemático en Simulink de Matlab, para la sintonización del controlador (PID-Difuso Incremental), empleando los parámetros de control P, I y D en la temperatura.

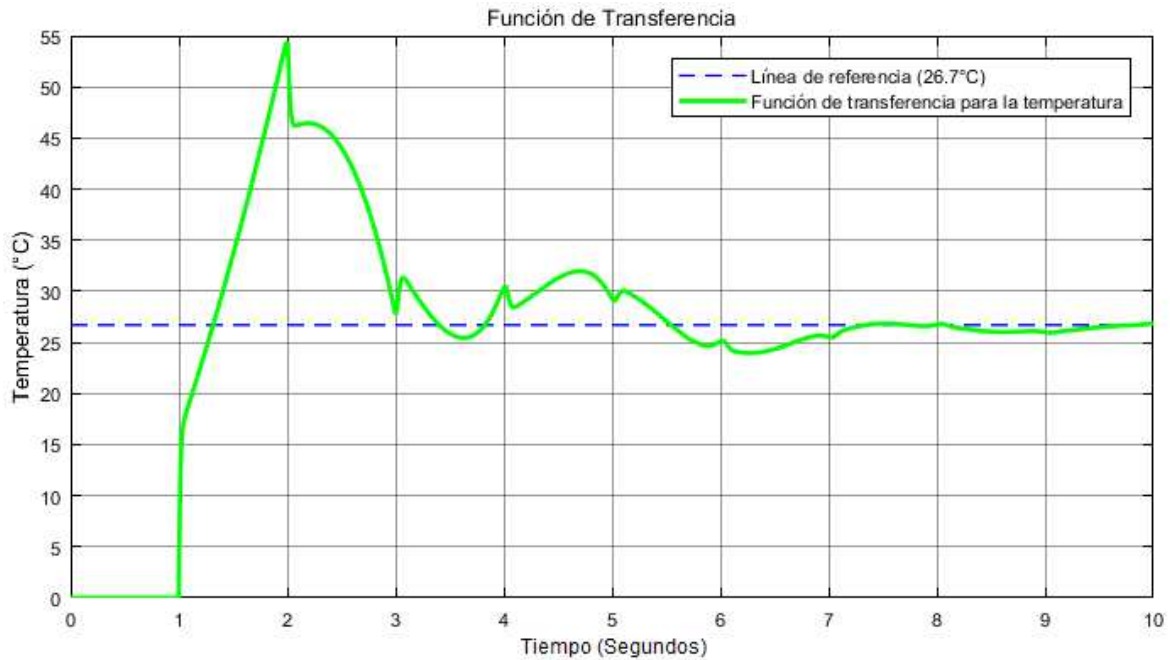


Figura 8. 7. Resultados en Simulink de Matlab, para la función de transferencia en la temperatura.

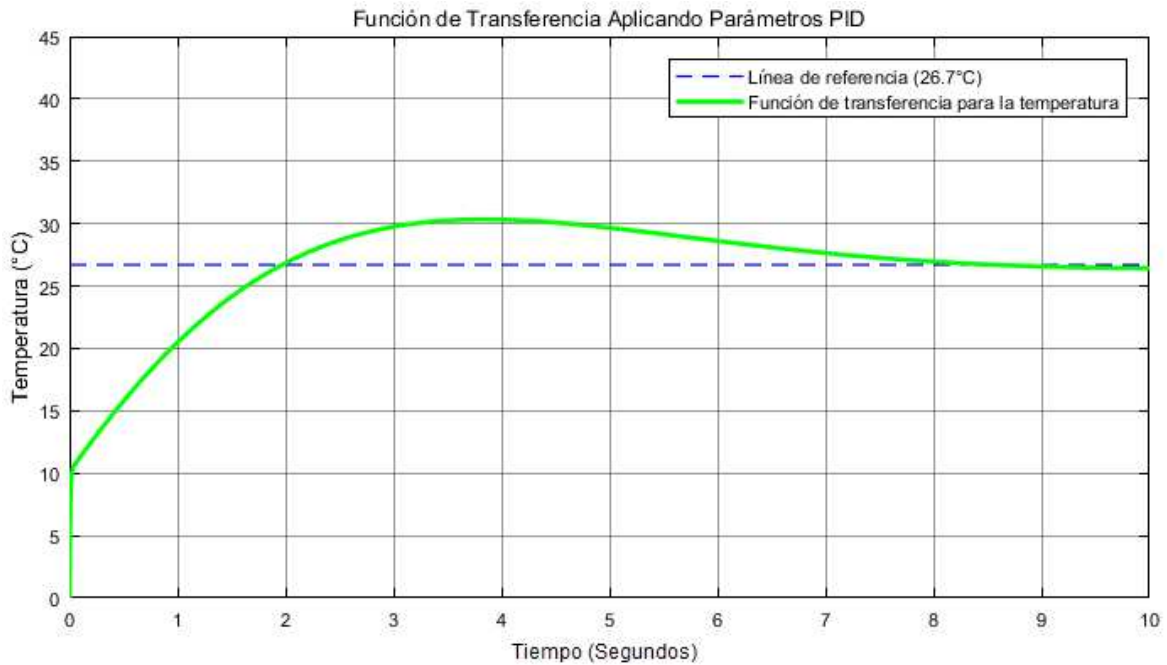


Figura 8. 8. Resultados en Simulink de Matlab, empleando los parámetros de control P, I y D en la temperatura.

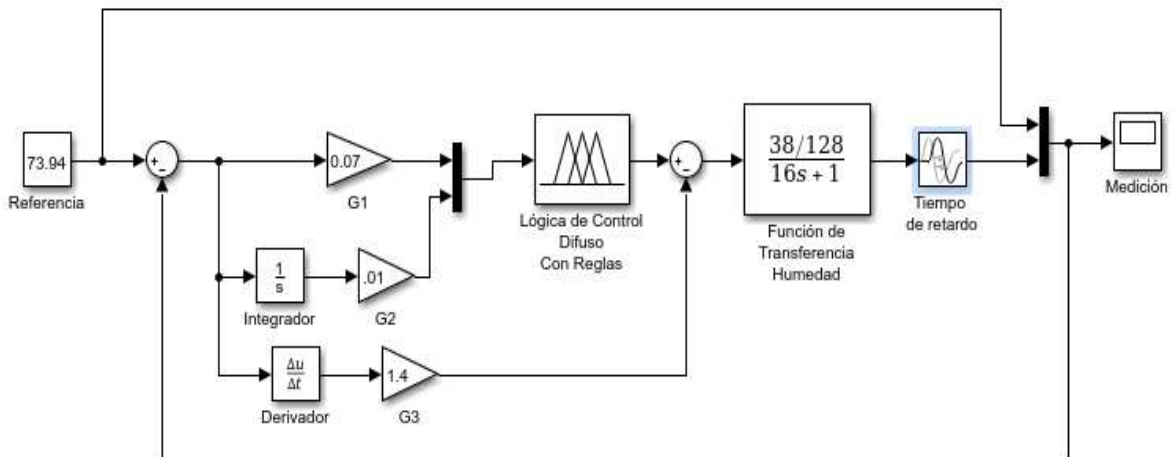


Figura 8. 9. Diagrama esquemático en Simulink de Matlab, para la sintonización del controlador (PID-Difuso Incremental), empleando los parámetros de control P, I y D en la Humedad Relativa.



Figura 8. 10. Resultados en Simulink de Matlab, para la función de transferencia en la Humedad Relativa.

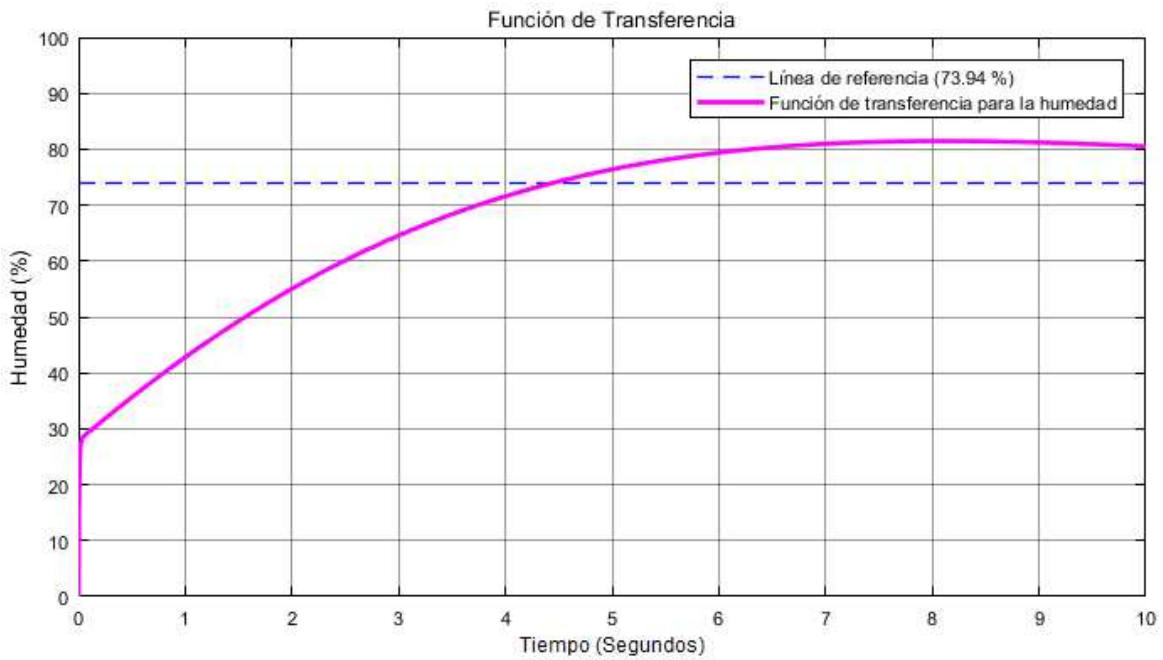


Figura 8. 11. Resultados en Simulink de Matlab, empleando los parámetros de control P, I y D en la Humedad Relativa.

En la **Tabla 8.3** se muestran los códigos usados en Simulink de Matlab para sintonizar un controlador PID-Difuso Incremental de la función de transferencia de la temperatura.

A partir de la función de transferencia de la planta $u(s)_T$, para la temperatura (**Eq. 8. 19**), se obtuvo la respuesta de la planta al escalón unitario **Figura 8. 12**, y en la **Figura 8. 13** se realiza el ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab en tres puntos de sintonización.

Tabla 8.3 Código empleado en Simulink de Matlab en la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental, para la variable temperatura.

<pre>clear all, close all, clc num = [17/128] denom = [28 1] Ust = tf(num, denom) H = 1; M = feedback (Ust, H) step (M) hold on %% Kp = 252.99 Ki = 126.49 Kd = 126.49 Gc = pid(Kp, Ki, Kd) Mc = feedback (Gc*Ust, H) step (Mc) grid on</pre>	<pre>clear all, close all, clc num = [17/128] denom = [28 1] Ust = tf(num, denom) H = 1; M = feedback (Ust, H) step (M) hold on %% Kp = 227 Ki = 58 Kd = 1 Gc = pid(Kp, Ki, Kd) Mc = feedback (Gc*Ust, H) step (Mc) grid on</pre>
<p>Ajuste de parámetros PID, mediante la función de transferencia (Eq. 8. 21).</p>	<p>Ajuste de parámetros PID con Simulink de Matlab (Eq. 8. 22).</p>

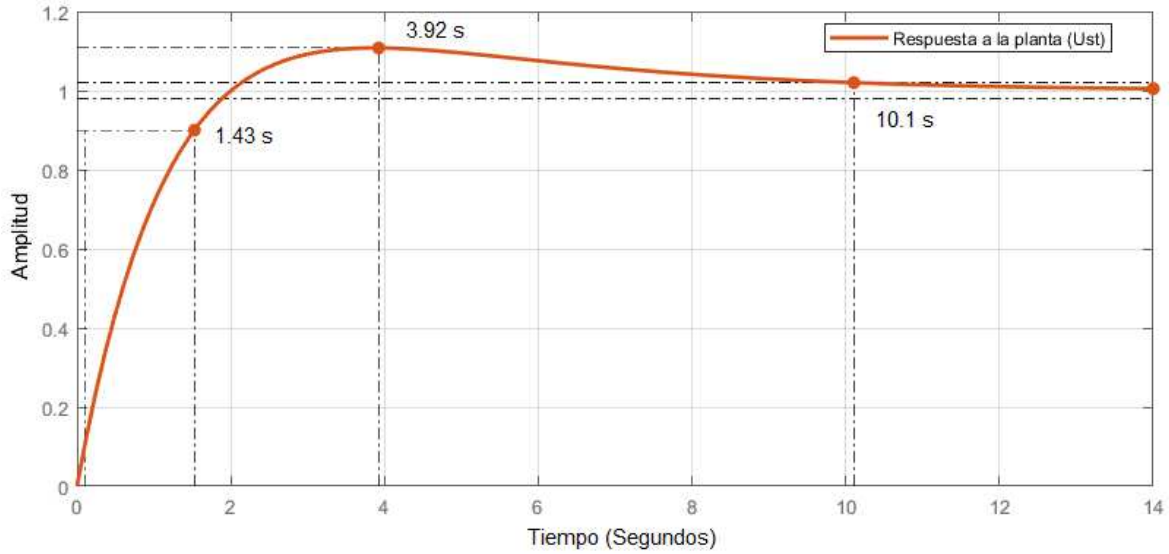


Figura 8. 12. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.

$$M_c = \frac{16.8 s^2 + 33.6 s + 16.8}{44.8 s^2 + 34.6 s + 16.8} \quad (\text{Eq. 8. 21})$$

$$M_c = \frac{0.13 s^2 + 30.25 s + 7.707}{28.13 s^2 + 31.15 s + 7.703} \quad (\text{Eq. 8. 22})$$

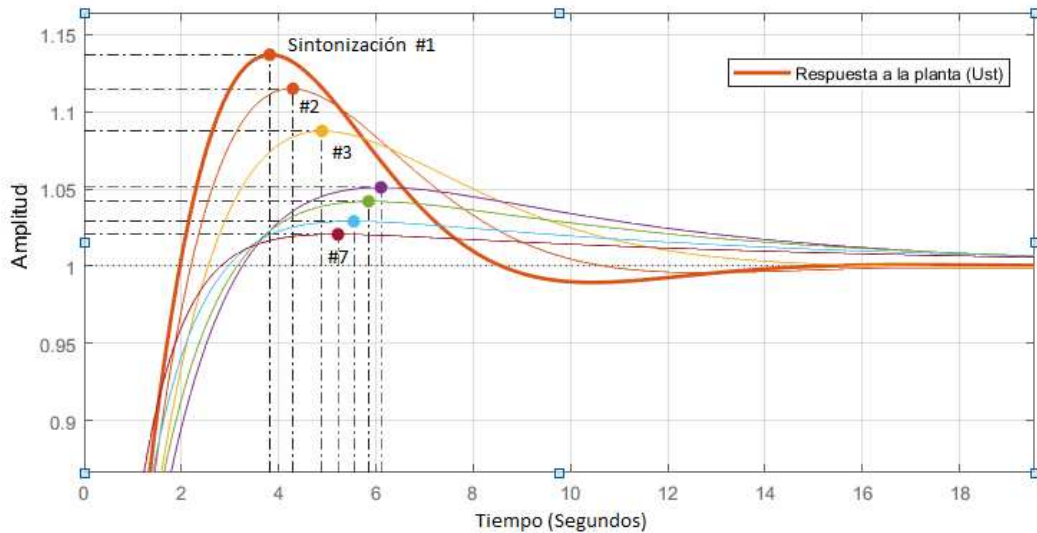


Figura 8. 13. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.

Considerando la función de transferencia de la planta $u(s)_H$, para la humedad relativa (Eq. 8. 20), se obtuvo la respuesta de la planta al escalón unitario **Figura 8. 14** y en la **Figura 8. 15** se realiza el ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab en base a tres puntos de sintonización, donde además en la **Tabla 8.4**, se muestran los códigos usados en Simulink de Matlab para sintonizar un controlador PID-Difuso Incremental de la función de transferencia de la humedad relativa.

Tabla 8.4 Código empleado en Simulink de Matlab en la sintonización de un controlador PID-Difuso Incremental, para la variable de la humedad relativa.

<pre>clear all, close all, clc num = [38/128] denom = [16 1] Ust = tf(num, denom) H = 1; M = feedback (Ust, H) step(M) hold on %% Kp = 32.34 Ki = 8.09 Kd = 32.34 Gc = pid(Kp, Ki, Kd) Mc = feedback (Gc*Ust, H) step (Mc) grid on</pre>	<pre>clear all, close all, clc num = [17/128] denom = [28 1] Ust = tf(num, denom) H = 1; M = feedback (Ust, H) step(M) hold on %% Kp = 402.99 Ki = 36.49 Kd = 126.49 Gc = pid(Kp, Ki, Kd) Mc = feedback (Gc*Ust, H) step (Mc) grid on</pre>
<p>Ajuste de parámetros PID, mediante la función de transferencia (Eq. 8. 23).</p>	<p>Ajuste de parámetros PID con Simulink de Matlab (Eq. 8. 24).</p>

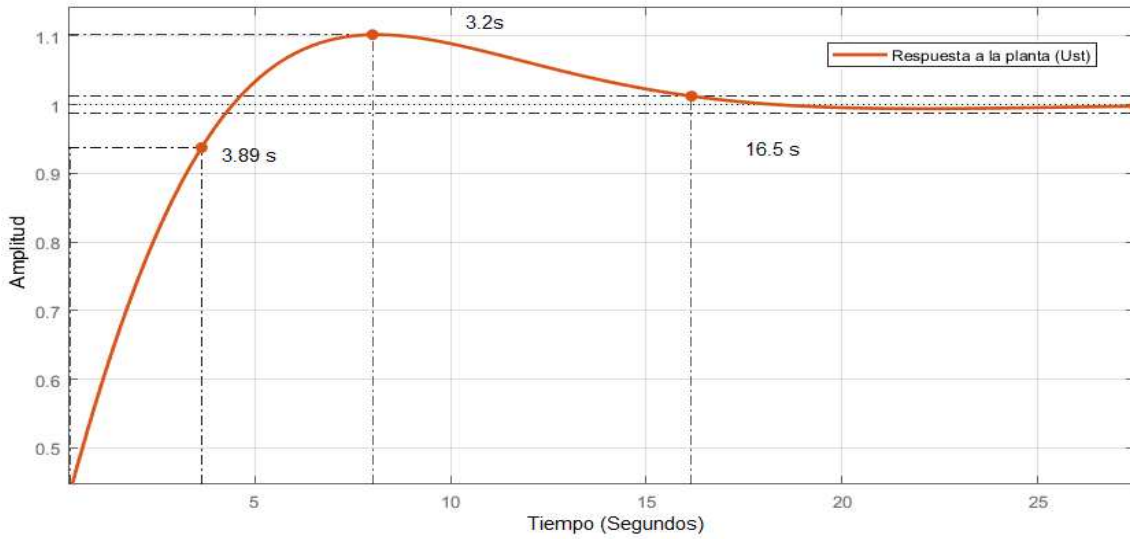


Figura 8. 14. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.

$$M_c = \frac{9.601 s^2 + 9.601 s + 2.402}{25.6 s^2 + 10.6 s + 2.402} \quad (\text{Eq. 8. 23})$$

$$M_c = \frac{16.8 s^2 + 53.52 s + 4.85}{44.8 s^2 + 54.52 s + 4.846} \quad (\text{Eq. 8. 24})$$

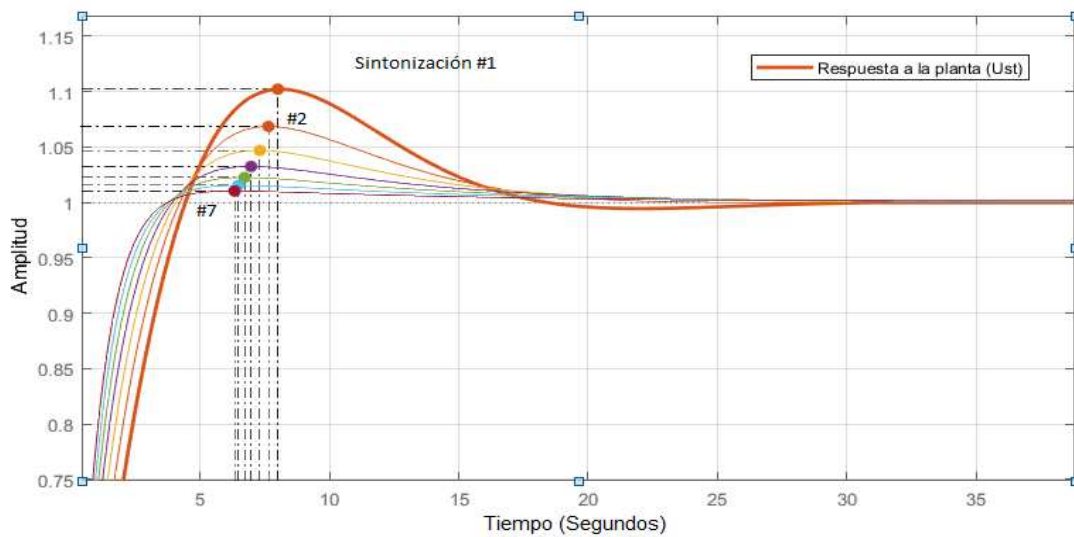


Figura 8. 15. Ajuste de parámetros PID en Simulink de Matlab, en la función de transferencia en respuesta al escalón unitario.

8.5 Resultados de la Implementación del controlador PID-Difuso.

Después de la sintonización del controlador PID-Difuso, continua con la etapa de filtraje a través del controlador de lógica difusa, donde se emplean las reglas de pertenencia para las variables de entrada como lo es la temperatura y la humedad relativa para cada conjunto difuso a defusificar, **Figura 8. 16**.

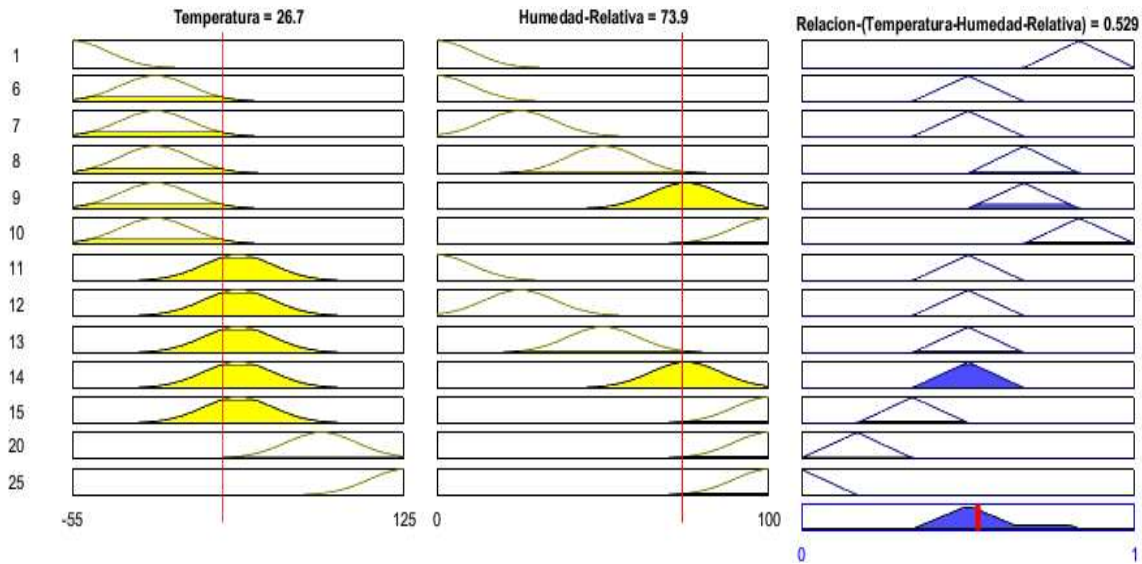


Figura 8. 16. Presentación de las reglas de las funciones de pertenencia y del conjunto difuso a defusificar.

En la **Figura 8. 16**, se expresan la reglas mediante sus funciones de pertenencia de entrada (temperatura y humedad relativa), así como las de salida (relación temperatura-humedad), donde se puede concluir que ninguna función de pertenencia es lineal. En la **Figura 8. 17**, se muestra la superficie de control en tercera dimensión, que resulta de todas las funciones de membresía a la entrada (reglas) y parámetros de control difuso, para nuestro caso de control, en una temperatura de 26.7° y una humedad relativa de 73.9%, donde se determina que existe una correlación temperatura-humedad de 0.529. Considerando también como referencia la adquisición de datos de forma automática y de forma manual por el usuario (**Figura 8. 18**), de donde obtenemos la velocidad de respuesta sensor-actuador (**Figura 8. 19**).

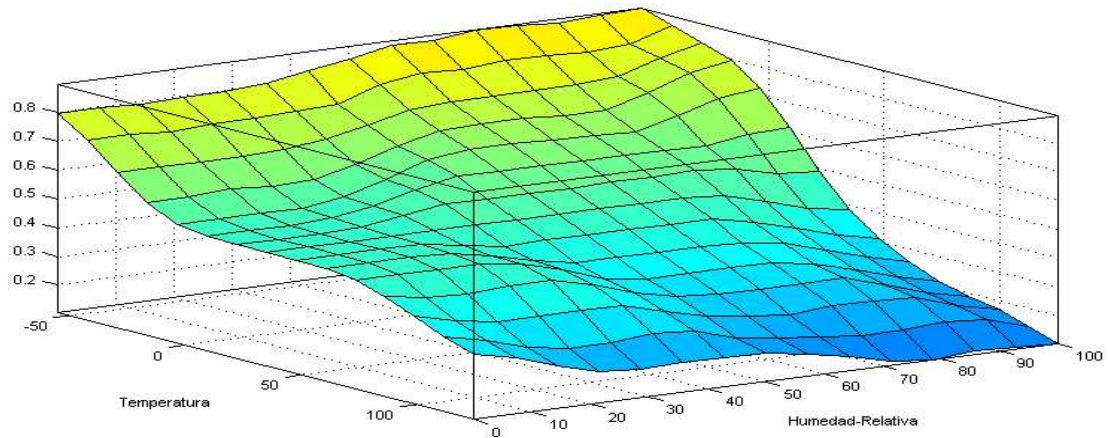


Figura 8. 17. Superficie de Control (Relación Temperatura-Humedad Relativa).

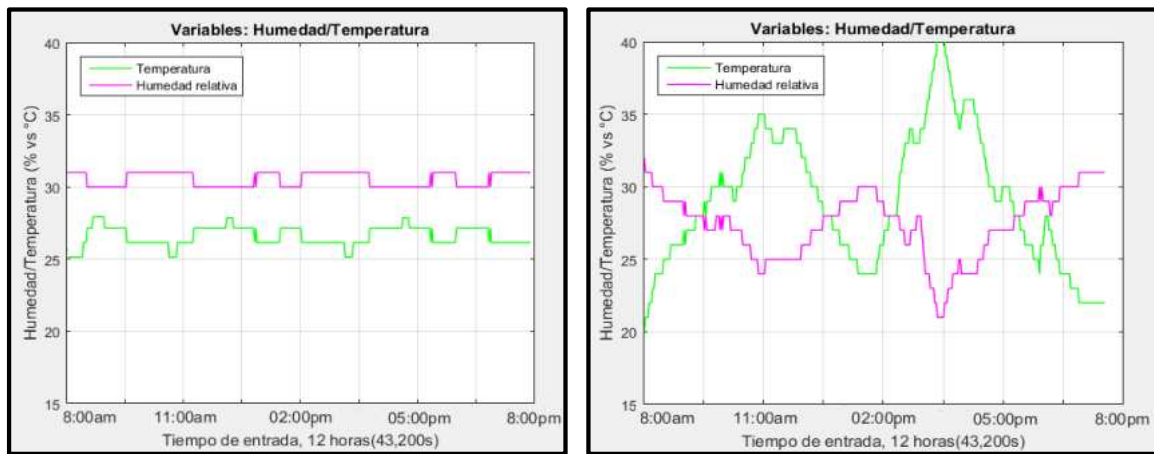


Figura 8. 18. Aclimatación de invernadero, con y sin control climático.

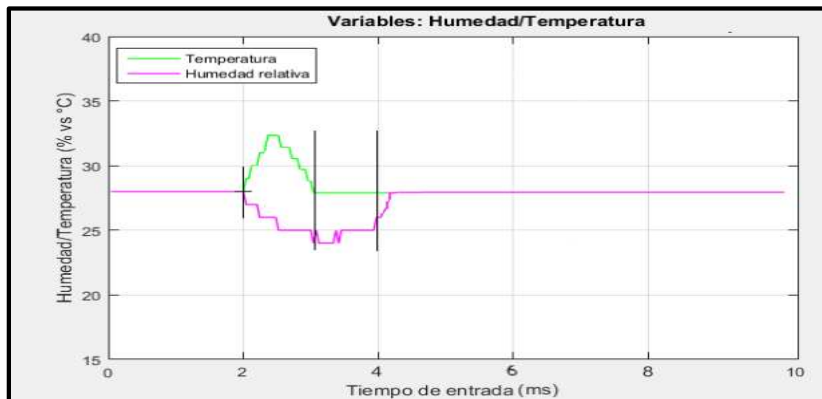


Figura 8. 19. Respuesta de aclimatación (Sensor-actuador).

8.6 Discusión.

Un prototipo de control climático, diseñado para monitorear en tiempo real las condiciones de clima en un invernadero, en el que las variables de temperatura y humedad relativa son cruciales para determinar un micro clima y el óptimo desarrollo y crecimiento en las plantas (Olvera-Olvera et al., 2011). En nuestro diseño el enfoque de análisis fue externo-interno; es decir, el monitoreo de condiciones climáticas al exterior (lluvia y viento) y de variables no lineales internas (temperatura y humedad relativa), de acuerdo a la correlación temperatura-humedad y al algoritmo de programación de nuestro micro-controlador (18F4550), se lograron respuestas de aclimatación para nuestro recinto (invernadero) y comunicación (sensor-actuador), donde el sensor de temperatura, sonda SEN-DS18B20 con rangos de temperatura de -55 a +125°C, alcanza una precisión de $\pm 0.05^\circ\text{C}$ en 30 milisegundos, y el sensor de humedad RHT03, modelo 22, en rangos de 0 a 100%, alcanza una resolución de $\pm 0.5\%$ y una precisión de $\pm 1\%$ en 20 milisegundos, esto nos da una velocidad de respuesta de nuestro microcontrolador hacia nuestros servomotores de 1 milisegundo de retardo para la temperatura y de 2 milisegundos para la humedad relativa, con ganancias de 0.1328 y 0.2969, para la temperatura y humedad relativa respectivamente para cada ciclo de medición, que de acuerdo con los datos registrados por Zhang et al., (2015), que al igual, emplea un método en la obtención de datos en tiempo real por su micro-controlador, usando lógica difusa en su programación, en este sólo alcanza resoluciones de ± 2.5 y una precisión de 3% de humedad relativa en rangos de 40 al 80%, considerando también la temperatura que alcanza una precisión de $\pm 0.2^\circ\text{C}$, en ambientes cerrados y si consideramos los trabajos realizados por Shilpa y Mundada, (2016), que emplean un microcontrolador de la familia 18F4550, sensores LM35 y el SY-HS-220 para la temperatura y la humedad relativa respectivamente, considerando que en su diseño incluye una programación del tipo ON/OFF a elección del usuario, alcanzando una precisión de ± 0.5 en la temperatura y 5% en la humedad relativa en rangos de 30 al 90%, datos que están por debajo de los

obtenidos en nuestro controlador programado en lenguaje C++, empleando un controlador tipo PID-Difuso Incremental.

9. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se logró diseñar un control climático robusto y eficiente, a precio accesible para pequeños y medianos productores, cuya finalidad principal es permitirles incrementar la producción creando un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas y a la vez, reducir gastos y pérdidas debido a inclemencias del tiempo.

9.1 TRABAJO FUTURO (ADAPTACIONES ÚTILES Y NECESARIAS AL CONTROL DE CLIMA).

- ✓ Implementación y colocación de un data-logger en memoria extraíble (MicroSD), para el almacenaje y monitoreo de datos en variables ambientales de sensores en tiempo real, durante el día y la noche (las 24 horas).
- ✓ Colocación de un osciloscopio en pantalla LCD, para monitorear el comportamiento de variables como la temperatura respecto a la humedad relativa, el viento y la precipitación fluvial.
- ✓ Teclados alfanuméricos que incluyan pantallas LCD's o leds, para que el productor pueda acceder a los menús del display y por consiguiente modificar: datos, parámetros o rangos en el programa de control.
- ✓ Monitores, control y activación de alarmas vía remota del funcionamiento del control climático, por medio de Wi-fi o Bluetooth, en dispositivos como Tablet, celular o PC.

10. REFERENCIAS

- Abbasi S., Tabassum A., Tasneem A. 2016. Impact of wind energy generation on climate: Arising spectre. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 59: 1591-1598.
- Ahlawat S., Nehra V., Hasan M., Singh M., Nehra K. 2015. Fuzzy expert system for greenhouse rose yield prediction. *Economics Environmental & Construction*. 21: S347-S352.
- Akpan S., Aya E., Essien U., Akpan O., Bassey N. 2011. Analysis of total factor productivity among smallholder vegetable farmers in akwa-ibom state. *Nigerian Journal of Agriculture, Food and Environment*. 7: 68-74.
- Alpaslan F., Terzio H., Cem A. 2015. The Design of a Test & Development Board for the Training of PIC18F4550 Microcontroller. *International Conference on Information Science and Control Engineering*. 215: 951-955.
- Attia H. A. 2016. Multi-Functional Microcontroller Based Monitoring, Alarming and Protection System. *International Journal of Applied Engineering Research*. 11: 9491-9496.
- Azaza M., Echaieb K., Tadeo F., Fabrizio E., Iqbal A., Mami A. 2015. Fuzzy Decoupling Control of Greenhouse Climate. *Arabia Journal Science Engineering*. 1: 1-9.
- Azaza M., Tanougast C., Fabrizio E., Mami A. 2016. Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring. *ISA Transactions*. 61: 297-307.
- Baptista F., Bailey B. Meneses J. 2012. Effect of nocturnal ventilation on the occurrence of *Botrytis cinérea* in Mediterranean unheated tomato greenhouses. *Crop Protection*. 32: 144-149.
- Bassi S. J., Mishra M. K., Omizegba E.E. 2011. Automatic tuning of proportional–integral–derivative (pid) controller using particle swarm optimization (pso) algorithm. *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA)*. 2: 25-31.
- Brodribb T., Jordan G. 2011. Water supply and demand remain balanced during leaf acclimation of *Nothofagus cunninghamii* trees. *New Phytologist*. 192: 437-448.

- Chen S., Chen X., Xu J. 2016. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 76: 105-124.
- Choi S., Rahimian M., Toliyat H. 2011. Implementation of a Fault-Diagnosis Algorithm for Induction Machines Based on Advanced Digital-Signal-Processing Techniques. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 58: 937-948.
- Carins M., Jordan G., Brodribb T. 2012. Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant, Cell & Environment*. 35: 1407-1418.
- Dhamakale S., Patil S. 2011. Fuzzy Logic Approach with Microcontroller for Climate Controlling in Green House. *International Journal on Emerging Technologies*. 2: 17-19.
- Eldhose K. A., Rosily A., Mini P. K., Krishnapriya M. N., Neenu M. S. 2014. Automated Greenhouse Monitoring System. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*. 3: 164-166.
- Farhat M., Barambones O., Sbita L. 2015. Efficiency optimization of a DSP based standalone PV system using a stable single input fuzzy logic controller. *Renewable and Sustainable Energy*. 49: 907-920.
- Fehmi S., Kong M. 2012. Effects of soil type, rainfall, straw mulch, and fertilizer on semi-arid vegetation establishment, growth and diversity. *Ecological Engineering*. 44: 70-77.
- Fourati, F. 2014. Multiple neural control of a greenhouse. *Neurocomputing*. 139: 138–144.
- Franks P., Leitch I., Ruzsala E., Hetherington A., Beerling D. 2012. Physiological framework for adaptation of stomata to CO₂ from glacial to future concentrations. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 367: 537-546.
- Gautam H., Bhardwaj M., Kumar R. 2013. Climate change and its impact on plant diseases. *Current Sci*. 105: 1685-1691.
- Gouda C. K., Preetham V. R., Shanmukha S. M. 2014. Microcontroller Based Real Time Weather Monitoring Device With Gsm, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*. 3: 1960-1963.
- Guerbaoui M., Ed-dahhak A., ElAfou Y., Lachhab A., Belkoura L., Bouchikhi B. 2013. Implementation of direct fuzzy controller in greenhouse based on labview. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Studies*. 1: 1-13.
- Hahn F. 2011. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 77: 21-27.

- Hajduk Z., Trybus B., Sadolewski J. 2015. Architecture of FPGA Embedded Multiprocessor Programmable Controller. *IEEE transactions on industrial electronics*. 62: 2952-2961.
- Irineo L., López C., Efrén F.R., Juan Carlos T.M., Elmer, C.T.Z., Agustín, R.G., Armando R.A. 2014. Control Strategies of Greenhouse Climate for Vegetables Production In. *Biosystems Engineering:Biofactories for Food Production in the Century*. 21: 401-421.
- Iliev O. L. Sazdov P. 2014. A fuzzy logic based controller for integrated control of protected cultivation. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 25: 75-85.
- Joop C. L. 2012. The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Bio-Control*. 57: 1-20.
- Joseph J., Biju N. 2016. Real-Time Climate Control and Remote Monitoring of Polyhouse based on LabVIEW. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 5: 2319-7064.
- Kumar R., Datt D., Kumar A. 2013. Digital signal processing of cylinder pressure data for combustion diagnostics of HCCI engine. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 36: 95-109.
- Ma C. Li Q. Liu Z. Jin Y. 2010. Low cost AVR microcontroller development kit for undergraduate laboratory and take-home pedagogies. In *Education Technology and Computer (ICETC)*. 2: 35-38.
- Macías-Bobadilla G., Rodríguez-Reséndiz J., Mota-Valtierra G, Soto-Zarazúa G., Méndez-Loyola M., Garduño-Aparicio M. 2016. Dual-Phase Lock-In Amplifier Based on FPGA for Low-Frequencies Experiments. *Sensors*. 16: 1-12.
- Madeline R., Carins M., Gregory J. Jordan J., Timothy J. 2014. Acclimation to humidity modifies the link between leaf size and the density of veins and stomata. *Plant, Cell and Environment*. 37: 124-131.
- Mahato A., Research J., Ghasidas G., Koni C. 2014. Climate changes and its Impact on Agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4: 1-6.
- Márquez-Vera M. A., Ramos-Fernández J.C., Cerecero-Natale L.F., Lafont F., Balmat J. F. Esparza-Villanueva J. I. 2016. Temperature control in a MISO greenhouse by inverting its fuzzy model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 124: 168-174.
- Martínez V., Baladrón C., Gomez J., Ruiz G. 2, Navas L.M., Aguiar J., Carro B. 2012. Temperature and Relative Humidity Estimation and Prediction in the Tobacco Drying Process Using Artificial Neural Networks. *Sensors*. 12: 14004-14021.

- Mitra A. K., Nath S., Sharma A.K. 2008. Fog forecasting using rule-based fuzzy interface system, *Indian Society and Remote Sensors*. 36: 243-253.
- Ng W. W., Panu U. S. 2010. Comparisons of traditional and novel stochastic models for the generation of daily precipitation occurrences. *Journal Hydrological*. 380, 222–236.
- Olvera-Olvera C., Duarte-Correa D., Ramírez-Rodríguez S., Alaniz-Lumbreras P., Lara-Herrera A., Gómez-Meléndez D., Aguilera-Soto J., Araiza-Esquivel M. Villa-Hernández J., Gonzalez-Ramirez E., Herrera-Ruiz G. 2011. Development of a remote sensing and control system for greenhouse applications. *African Journal of Agricultural Research*. 6: 4947-4953.
- Ow L., Whitehead D., Walcroft A., Turnbull M. 2010. Seasonal variation in foliar carbon exchange in *Pinus radiata* and *Populus deltoides*: respiration acclimates fully to changes in temperature but photosynthesis does not. *Global Change Biol*. 16: 288-302.
- Padula F., Visioli A. 2011. Optimal tuning rules for proportional-integral-derivative and fractional-order proportional-integral-derivative controllers for integral and unstable processes. *IET Control Theory and Applications*. 6: 776-786.
- Revathi S., Sivakumaran N. 2016. Fuzzy Based Temperature Control of Greenhouse. *International Federation of Automatic Control*. 49 549–554.
- Rossi V., Caffi T. 2012. The role of rain in dispersal of the primary inoculum of *Plasmopara viticola*. *Phytopathology*. 102: 158-165.
- Salaudeen M., Adama C., Abdullahi A., Ayeleke D., Ibrahim A. 2016. Climate change and viral diseases in relation to crop productivity and food security: a review. *International Journal of Applied Biological Research*. 7: 56-65.
- Sarkar D., Chowdhury A. 2016. Low cost and efficient ECG measurement system using PIC18F4550 microcontroller. 1: 6-11.
- Shamshiri R., Wan Ismail W. I. 2013. A Review of Greenhouse Climate Control and Automation Systems in Tropical Regions. *Journal of Agricultural Science and Applications*. 2: 176-183.
- Shilpa G y Mundada G. 2016. Unified smart utility system for monitoring climatic conditions. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 3: 138-142.
- Soto-Zarazúa G.M., Romero-Archuleta B.A., Mercado-Luna A., Toledano-Anaya M., Rico-García E., Peniche-Vera R.R., Herrera-Ruiz G. 2011. Trends in Automated Systems Development for Greenhouse Horticulture. *International Journal Research*. 6: 1-9.

- Teitela M., Ziskindb G., Lirana O., Dubovsky V. Letan R. 2008. Effect of wind direction on greenhouse ventilation rate, airflow patterns and temperature distributions. *Biosystems Engineering*. 101: 351- 369.
- Travé-Massuyès L. 2014. Bridging control and artificial intelligence theories for diagnosis: A survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 27. 1-16.
- Wakita K., Huang J., Di P., Sekiyama K., Fukuda T. 2013. Human-Walking-Intention-Based Motion Control of an Omnidirectional-Type Cane Robot, *IEEE Transactions on Mechatronics*. 18: 285-296.
- Way D., Oren R. 2010. Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes. A Review and Synthesis of Data, *Tree Physiol*. 30: 669-688.
- Yamori W., Hikosaka K., Way D. 2014. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynth Res*. 119: 101-117.
- Yan-Jun L., Shaocheng T. 2014. Adaptive Fuzzy Control for a Class of Nonlinear Discrete Time Systems With Backlash. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22: 1359-1365.
- Zhang W., Ma H., Yang S. X., 2015. A neuro-fuzzy decoupling approach for real-time drying room control in meat Manufacturing. *Expert Systems with Applications*. 42: 1039-1049.

11. APÉNDICE

Las abreviaturas usadas en la presente tesis (**Tabla 11.1**).

Tabla 11.1 Abreviaturas empleadas.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius	A	Amperio
°F	Grados Fahrenheit	etc.	Etcétera
A.C.	Corriente Alterna	F	Faradio
LCD	Cristal de liquido	f.e.m.	fuerza electromotriz
V	Volts	EV	Electronvoltio
VCD	Voltaje de Corriente Directa	ADC	Convertidor Analógico a Digital
DAC	Convertidor Digital a Analógico		

Código empleado en Matlab para la comunicación serial (USB), sistema de control-PC.

```
delete(instrfind({'Port'}, {'COM3'})); %Desactivar puerto conectado
USB_Puerto_Serial = serial('COM3');
tiempo=200;
i=1;
while(i<tiempo)

fopen(USB_Puerto_Serial)
fprintf(USB_Puerto_Serial, 'Localización del puerto serial')
out = fscanf(USB_Puerto_Serial)

Temp(i)=str2num(out(1:4));
subplot(211);
plot(Temp, 'g', 'LineWidth', 2.5);

axis([0, tiempo, 15, 35]);
title('Variable: Temperatura');
xlabel('Tiempo de entrada en segundos (s)');
ylabel('Temperatura (°C)');
grid on

Humi(i)=str2num(out(5:9));
subplot(212);
```

```

    plot(Humi, 'm', 'LineWidth', 2.5);
    axis([0, tiempo, 25, 100]);
    title('Variable: Humedad Relativa');
    xlabel('Tiempo de entrada en segundos (s)');
    ylabel('Humedad Relativa (%)');
    grid on

    fclose(USB_Puerto_Serial)
    i=i+1;
    drawnow;
    end
    delete(USB_Puerto_Serial)
    clear USB_Puerto_Serial

```

Código empleado en Matlab para las reglas difusas en la programación del micro-controlador comunicación serial (USB), sistema de control-PC.

```

clc, clear all, close all,
paso = 0.01;
% Proceso de la semantica del error de posicion
e=-100:paso:100;
MB=trapmf(e, [-100 -100 -50 -25]);
B=trimf(e, [-50 -25 0]);
N=trimf(e, [-25 0 25]);
A=trimf(e, [0 25 50]);
MA=trapmf(e, [25 50 100 100]);
subplot (3,1,1), plot(e,MB,e,B,e,N,e,A,e,MA, 'LineWidth', 3)
set(gca, 'FontSize', 12), legend ('MB', 'B', 'N', 'A', 'MA')
xlabel ('Temperatura'), ylabel ('Temperatura')
% Proceso accion de control
v=-12:paso:12;
B75=trapmf(v, [-12 -12 -6 -3]);
B50=trimf(v, [-6 -3 0]);
M=trimf(v, [-3 0 3]);
S50=trimf(v, [0 3 6]);
S75=trapmf(v, [3 6 12 12]);
subplot (3,1,2), plot(v,B75,v,B50,v,M,v,S50,v,S75, 'LineWidth', 3)
set(gca, 'FontSize', 12), legend ('B75', 'B50', 'M', 'S50', 'S75')
xlabel ('Temperatura-Humedad'), ylabel ('Temp.-Hum.')
axis([-12 12 0 1]);
%lectura del error
e0=9; %error leido
n=find(e==e0);
subplot (3,1,1), hold on, plot (e0,MB(n), '*', e0,B(n), '*', e0,N(n), ...
    '*', e0,A(n), '*', e0,MA(n), '*', 'LineWidth', 5), hold off
    % Fusificacion a leer
B1=min (B75, MB(n));
B2=min (B50, B(n));
B3=min (M, N(n));
B4=min (S50, A(n));
B5=min (S75, MA(n));
B=max (B1, max (B2, max (B3, max (B4, B5)))));

```

```

subplot(3,1,3), plot(v,B, 'LineWidth',5)
set (gca, 'FontSize',12), legend ('V')
axis ([-12 12 0 1])
% Defusificacion
vo=defuzz(v, B, 'Centroid')
hold on, plot(vo*ones(1,3),[0 0.5 1], 'r', 'LineWidth', 5)

```

Comunicación serial (USB), sistema de control-PC, recepción de dos señales (Humedad relativa y temperatura).

```

clear all;
USB_Puerto_Serial = serial('COM14');
%tiempo=43200;
tiempo=400;
i=1;
while(i<tiempo)
clc
fopen(USB_Puerto_Serial)
fprintf(USB_Puerto_Serial, 'Localización del puerto serial')
out = fscanf(USB_Puerto_Serial)

Temp(i)=str2num(out(1:4));
Humi(i)=str2num(out(5:9));
plot(Temp, 'g', 'LineWidth', 1.0 );
hold on;
plot (Humi, 'm', 'LineWidth', 1.0);

axis([0,tiempo,15,40]);
legend ('Temperatura', 'Humedad relativa', 'location', 'northwest')
title('Variables: Humedad/Temperatura');
xlabel('Tiempo de entrada 12 horas(8:00am 11:00am 02:00pm 05:00pm 8:00pm)');
ylabel('Humedad/Temperatura (% vs °C)');
grid on

fclose(USB_Puerto_Serial)
i=i+1;
drawnow;
end
delete(USB_Puerto_Serial)
clear USB_Puerto_Serial

```



La UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
a través de la FACULTAD DE INGENIERÍA,
otorga la presente

CONSTANCIA

a:

Ignacio Mejía Ugalde

Por mejor promedio de la
generación 2014-2018 de la

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Con un promedio de 8.727

Querétaro, Qro. Viernes 8 de Junio de 2018

Dr. Manuel Teledano Ayala
Director
Facultad de Ingeniería

M.D.M. Carmen Sosa Garza
Secretaría Académica



CENEVAL

2018016111

**El Centro Nacional de Evaluación
para la Educación Superior, A.C.**
otorga a

IGNACIO MEJIA UGALDE

el presente

Testimonio de Desempeño Satisfactorio

obtenido en el Examen General
para el Egreso de la Licenciatura en

Ciencias Agrícolas

conforme a los requerimientos
establecidos por el Consejo Técnico

Ciudad de México,
23 de enero de 2018

Dr. en Quím. Rafael López Castañares
Director General

La Secretaría de Educación del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro
a través de su Consejo de Ciencia y Tecnología (CONCYTEQ) y
el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)

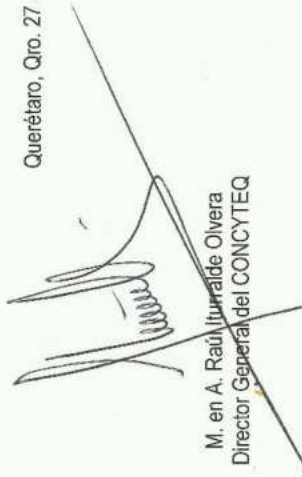
Otorga la presente

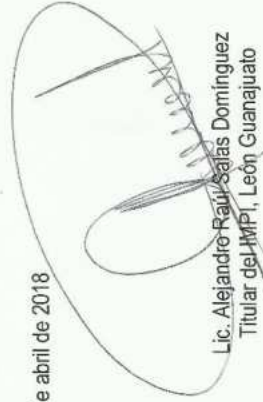
Constancia

A: Ignacio Mejía Ugalde
Universidad Autónoma de Querétaro

Por su valiosa participación en el Curso de Propiedad Intelectual "Preparándonos para proteger nuestros inventos.
¿Qué es la Propiedad Intelectual?", llevado a cabo el 20 y 27 de abril, con una duración de 10 horas.

Querétaro, Qro. 27 de abril de 2018


M. en A. Raúl Ugalde Olivera
Director General del CONCYTEQ


Lic. Alejandro Raúl Salas Domínguez
Titular del IMPI, León Guanajuato



SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN
QUERÉTARO



IMPI
INSTITUTO MEXICANO
DE LA PROPIEDAD
INDUSTRIAL