



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE LA
HUMEDAD RELATIVA EN UN INVERNADERO DE TOMATE**

AUTOR: JOSÉ HERNÁN COLCHA ULCUANGO

DIRECTOR: ING. COSME MEJÍA

Ibarra – Ecuador

2016

Implementación de un Sistema de Control Difuso de la Humedad Relativa en un Invernadero de Tomate

Sr. José Hernán Colcha Ulcuango¹, Ing. Cosme Damián Mejía²

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio, Ibarra, Ecuador
hernan-colcha@hotmail.com, cdmejia@utn.edu.ec

Resumen. *En el presente artículo se describe la metodología que se siguió para la implementación de un sistema de control difuso de la humedad relativa en un invernadero de tomate. Inicialmente se describe la implementación del mecanismo de apertura para las ventanas. Posteriormente se detalla la implementación de los circuitos y dispositivos seleccionados para el control de los Motor-reductores que permiten el movimiento del mecanismo de apertura, de igual forma la elaboración del programa de control para operar al sistema de modo manual o automático en base a reglas establecidas entre la humedad relativa interna y externa al invernadero (Control Difuso). Finalmente se integró el mecanismo de apertura y el sistema de control obteniéndose un sistema autónomo e ideal para el control de la humedad relativa mediante ventilación natural con dos modos de operación.*

Palabras Clave

Control, difuso, humedad relativa, invernadero, ventilación natural.

1. Introducción

Las condiciones climáticas favorables en invernadero permiten aumentar la producción y la calidad. Por ello, Los invernaderos están equipados con tecnologías cada vez más sofisticadas de calefacción y refrigeración, y con sistemas de automatización y control cada vez más complejos. (Benavente, Garcia, L.M, Elena, & Pastor, 2000)

De una forma simplificada, se pueden definir cinco niveles en los cuales se puede situar la automatización de un invernadero (y muchos casos, de cualquier instalación agraria) (Benavente, Garcia, L.M, Elena, & Pastor, 2000):

- Sin control automático: las operaciones se realizan de forma manual. Esto es habitual en muchos invernaderos cuyo equipamiento de climatización se reduce a la apertura y cierre manual de ventanas.

- Control por horario: las operaciones se realizan de forma automática a la hora marcada por el usuario. La información se transmite, en general, de forma eléctrica desde los contactos o relés de salida del automatismo a electroválvulas, relés exteriores o contactores, que arrancan y paran el equipo correspondiente. No se tienen en cuenta variables climáticas.

- Control por termostatos y automatismos similares: las operaciones se realizan en función de una variable climática, con un valor de consigna, y en general con diferencial o solapamiento en la actuación. La actuación se transmite, como en el caso anterior, desde un relé de salida del termostato a un relé exterior o un contactor, y al equipo correspondiente. La actuación depende de una sola variable climática, generalmente la temperatura.

- Control por autómatas programables (PLC) o controladores análogos: el autómatas posee una inteligencia centralizada que recibe la información desde el invernadero (a través de las entradas del autómatas) y opera sobre los actuadores (a través de las salidas).

- Control distribuido: en este caso, existe habitualmente un ordenador central conectado a una serie de controladores o autómatas, colocados en cada sector. Desde el ordenador central se visualiza y almacena la información y se pueden enviar órdenes a los distintos sectores.

La humedad relativa es un factor medioambiental muy importante que influye en el cultivo bajo invernadero, Un exceso de humedad relativa favorece la aparición y distribución de enfermedades, mientras que las humedades bajas causan cierre estomático y reducen la tasa de fotosíntesis (Huertas, 2008); (Perales, Perdigonos, Garcia, Montero, & Antón, 2003).

El presente trabajo, comprende el diseño y la implementación de un sistema de control difuso de la humedad relativa en un invernadero de tomate que permite intercambiar el aire permanente entre el interior y el exterior, de menor contenido de humedad, mediante ventilaciones laterales accionadas mediante motor-reductores evitando de esta manera los efectos de humedad alta en las plantas.

2. Materiales y Métodos

Inicialmente se definió el tipo mecanismo para la apertura de las cortinas, considerando los diversos sistemas de ventilación existentes para invernaderos. Posteriormente se diseñó y seleccionó los elementos de este mecanismo. Tales como juntas universales, motor-reductor, barras

Después se realizó un estudio de la humedad relativa interna y externa al invernadero para obtener datos con el fin de generar un modelo matemático de la planta, esto se realizó con las aplicaciones System Identification Toolbox y Simulink de Matlab®.

A continuación se diseñó el controlador difuso basándonos en la experiencia y conocimiento del experto que labora en el invernadero, modelo matemático de la planta y humedad relativa del tomate. Tomando como entradas la humedad interna y externa, además como salidas la apertura y cierre de cortinas. Para lo cual se definió las funciones de pertenencia, reglas de control, mecanismo de inferencia y defusificación, todo este proceso se implementó y simuló en la aplicación FIS Editor GUI(fuzzy) de Matlab®. Y físicamente se implementó en el plc LOGO 12/24RC a través de programación en bloques

Finalmente se instaló todos los componentes del sistema de control: elementos de control, elementos mecánicos del mecanismo de apertura y se efectuó las pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema

2.1 Mecanismo de apertura de cortinas

El sistema propuesto, Figura 1, consta de un motor-reductor conectado a una unión tipo junta universal, que a su vez se conecta a un extremo de un brazo telescópico. El otro extremo del brazo telescópico se conecta a una segunda unión tipo junta universal que finalmente se une al tubo de la cortina. Adicionalmente posee una cuerda atada

en la parte superior de la cortina y el segundo extremo del brazo.

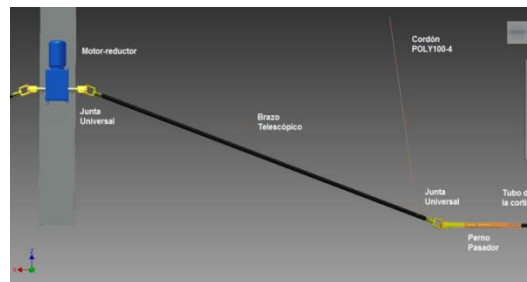


Figura 1 Sistema propuesto

El motor-reductor transmite movimiento al brazo telescópico a través de la primera junta universal la cual hace posible que el brazo realice movimientos rotatorios y flexionantes sobre el plano correspondiente a la ventana, también permite enrollar la cuerda. A su vez, el brazo transmite el movimiento mediante una segunda junta universal al tubo de la cortina.

2.2 Dimensionamiento de elementos

Para determinar la dimensión de la barra de mando, se consideró que la dimensión de la misma debería variar de acuerdo a la altura a la que se encuentre la cortina. Requiriendo de la dimensión mínima cuando la cortina se encuentre a la mitad de la altura de la ventana, mientras que la dimensión máxima se requerirá cuando esté totalmente abierta o cerrada.

Por consiguiente para calcular la dimensión de barra de mando se seleccionó primero el ángulo de operación de las juntas universales. Los fabricantes recomiendan ángulos mayores de 0° y menores de 25° para asegurar que la vida útil de la pieza sea lo mayor posible. (Guía de Selección para Nudos Universales, Suministros Industriales GRAINGER)

Se seleccionó un ángulo de operación de 20° y considerando que la altura media de la cortina es 90cm (ubicación del motor).

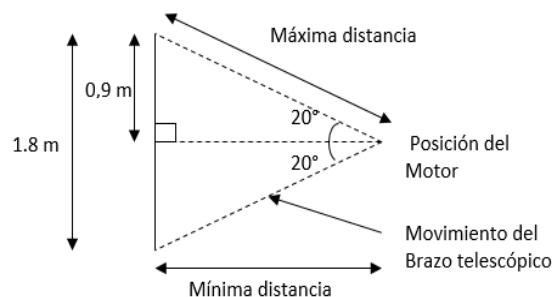


Figura 2 Cálculo de la dimensión de la barra.

$$\sin \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\sin 20^\circ = \frac{0.9 \text{ m}}{D_{\text{máx}}}$$

$$D_{\text{máx}} = \frac{0.9 \text{ m}}{\sin 20^\circ} = 2.63 \text{ m}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\cos 20^\circ = \frac{D_{\text{mín}}}{D_{\text{máx}}}$$

$$D_{\text{mín}} = (2.63 \text{ m}) \cdot \cos 20^\circ = 2.47 \text{ m}$$

Extensión de la barra

$$\begin{aligned} \text{Extencion de la barra} &= D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}} \\ \text{Extencion de la barra} &= 2.63 \text{ m} - 2.47 \text{ m} \\ &= 0.16 \text{ m} \text{ ó } 16 \text{ cm} \end{aligned}$$

En vista de que la extensión de barra es muy corta se propuso la implementación de una corredera (Figura 3), formada por un tubo cuadrado y parte de una junta universal y un perno pasador. Esto permite emplear una barra de bando de dimensión fija.

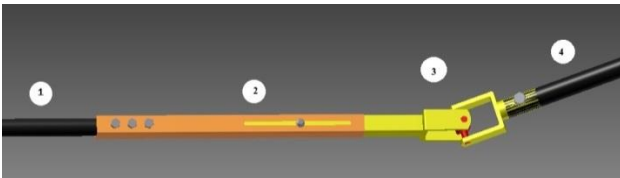


Figura 3 Corredera (1-Tubo; 2-Corredera; 3-Junta universal; 4-Barra de mando)

Para asegurar el resistencia mecánica de los elementos, se calculó los esfuerzos tanto cortantes como flexionantes a los que estarían sometidas las piezas. En todos los cálculos se consideró como par de torsión, el torque proporcionado por el motor (50N m).

Para el tubo cuadrado de la corredera las dimensiones fueron 20x1.5mm

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{T}{2A_m t} = \frac{(50)}{2(0,02 - 0,0015)(0,02 - 0,0015)(0,0015)} \\ &= 675.67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

De la misma forma se calculó el esfuerzo cortante para el tubo de acero, y se obtuvo el siguiente resultado

$$\begin{aligned} \tau_{\text{máx}} &= \frac{T \cdot r}{J} = \frac{50 \text{ Nm}(0.0127 \text{ m})}{\frac{\pi}{32} ((0.0254 \text{ m})^4 - (0.0239 \text{ m})^4)} \\ &= 71 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Y el esfuerzo flexionante sería

$$= \frac{Mc}{I} = \frac{50 \text{ Nm}(0.0127 \text{ m})}{\frac{\pi}{64} ((0.0254 \text{ m})^4 - (0.0239 \text{ m})^4)} = 143 \text{ MPa}$$

Adicionalmente, se calculó la deflexión máxima que experimentaría analizándola como una viga. Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: la barra se apoya únicamente en sus extremos, la única carga que actúa sobre ella es la generada por su propio peso, y tal carga se presentará en el centro de la barra ya que es de sección uniforme (diámetro de 1”).

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{máx}} &= \frac{5wL^3}{384EI} = \frac{5(3,547 \text{ N})(2,50 \text{ m})^3}{384(200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})(5,50 \times 10^{-5} \text{ Kg-m}^2)} \\ &\approx 6.4179 \times 10^{-8} \text{ m} \quad \text{o} \quad 6 \times 10^{-5} \text{ mm} \end{aligned}$$

Con base en los resultados obtenidos se puede afianzar la resistencia mecánica de las piezas, puesto que el acero al carbonó posee un módulo de elasticidad al corte (G) de 79.3GPa, muy superior a los resultados obtenidos. (Budynas & Nisbett, 2008)

2.3 Descripción de la planta

Este sistema de control está destinado a evitar el exceso de humedad relativa ambiente en el interior del invernadero. Manteniéndola dentro de parámetros prefijados en función del cultivo de tomate, de la humedad relativa interna y externa del invernadero. Para, ello el sistema actúa sobre la apertura o cierre de las cortinas.

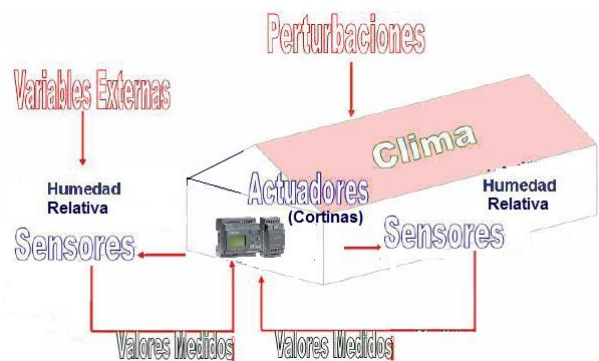


Figura 4 Diagrama de bloques del sistema

2.4 Modelamiento matemático

El modelo matemático de la humedad relativa interna del invernadero se obtiene con el método identificación del sistema en el cual se analizó los datos de entrada (Tiempo) y salida (Humedad relativa) del proceso, registrados a través de mediciones y pruebas realizadas en el invernadero. También se consideró el conocimiento y experiencia del experto (operario del invernadero). Este análisis y simulación se realizó en las aplicaciones System Identification Toolbox y Simulink de Matlab®.

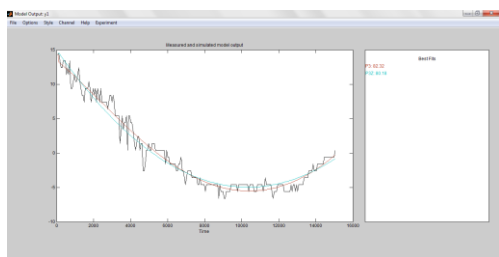


Figura 5 Modelo de salida P3(3 Polos) y P3Z(3Polos y un cero)

Modelo procesado con función de transferencia

$$G(s) = \frac{Kp}{(1+Tp1*s)(1+Tp2*s)(1+Tp3*s)} \quad (1)$$

Con $Kp = 13203$

$$Tp1 = 0.001$$

$$Tp2 = 4.3004e+008$$

$$Tp3 = 3045.6$$

$$G(s) = \frac{13203}{1309729824*s^3 + 1.3097e+012*s^2 + 4.3004e+008*s + 1}$$

2.5 Diseño del controlador difuso

En la Figura 6, muestra las variables de entrada (Humedad relativa interna y externa) y salida (Cortinas) empleadas para poder contrarrestar un exceso de la humedad relativa con la ventilación natural o en su debido caso aumentando la temperatura de esta forma a través del control de las ventanas evitar que la humedad relativa provoque condensaciones perjudiciales y evitar problemas por vientos muy fuertes y entrada de lluvia en el invernadero, adicionalmente por su facilidad de implementación.

Adicionalmente el usuario puede localmente configurar el modo de funcionamiento y tener acceso a la información de la humedad interna por lámparas de señalización ubicados en el tablero de control

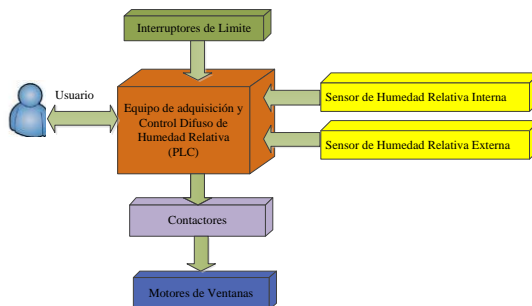


Figura 6 Diagrama de bloques del sistema de control difuso de la humedad relativa.

2.6 Funciones de pertenencia

Se empieza declarando las funciones, estableciendo los rangos en los cuales van a trabajar tanto las entradas como salidas.

Para la variable de entrada humedad relativa interna se empleó un universo de discurso con un rango de 0-100% esto con base en que los sensores de humedad relativa tienen un rango de medida de 20 a 100%, también debido a que las medidas registradas de la humedad relativa dentro del invernadero en el estudio del ambiente se encuentra dentro de dicho rango. Además se empleó los conjuntos difusos, “Baja”, “Normal” y “Alta” mismos que indican los principales estados, con sus rangos de operación como se muestra en la Tabla 1.

%Humedad relativa interna(HRI)		
Descripción	Nombre del conjunto	Rango de operación
Baja	B	0 - 50%
Normal	N	40 - 80%
Alta	A	70 - 100%

Tabla 1 Rangos de operación de Humedad relativa interna

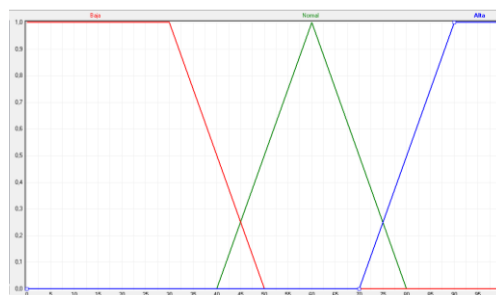


Figura 7 Función de pertenencia para la humedad relativa interna

De igual manera, para la variable de entrada humedad relativa externa, se utilizó el conjunto universo y las funciones de pertenencia definidas para humedad interna pero con diferentes rangos de operación de dichas

funciones, proporcionado un desfase respecto a los rangos empleados en la humedad (Tabla 2).

%Humedad relativa externa(HRE)		
Descripción	Nombre del conjunto	Rango de operación
Baja	B	0 a 50%
Normal	N	45 a 75%
Alta	A	70 a 100%

Tabla 2 Rangos de operación de Humedad relativa externa

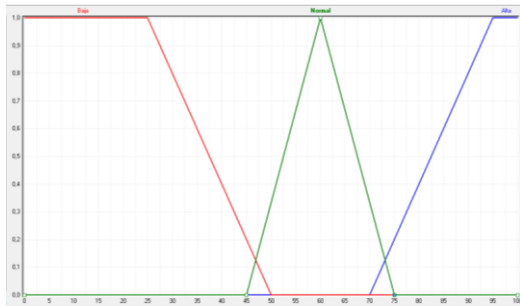


Figura 8 Función de pertenencia para la humedad relativa externa

Para variable de salida variación de la humedad interna se consideró el porcentaje de ventilación del perímetro 12.69 % que brindan las tres cortinas laterales como universo de discurso y cinco conjuntos difusos: BG(“Bajada grande”), BN(“Bajada normal”), BP(“Bajada pequeña”), SP (“Subida pequeña”), SN(“Subida normal”), SG (“Subida grande”), con la finalidad de obtener un mejor control de la humedad interna del invernadero (Tabla3).

Variación de la humedad interna			
Nombre del conjunto difuso	Descripción	Rango	Variación de la humedad relativa (%)
BG	Bajada grande	Apertura cortinas 1,2 y 3	+6.428%
BN	Bajada normal	Apertura cortinas 1 y 2	+3.548%
BP	Bajada pequeña	Apertura cortina 2	+2.712%
SP	Subida pequeña	Cierre cortina 2	-2.712%
SN	Subida normal	Cierra cortinas 1 y 2	-3.548%
SG	Subida grande	Cierra cortinas 1,2 y 3	-6.428%

Tabla 3 Descripción de los conjuntos difusos de la variación de la humedad relativa interna

2.7 Reglas de control

La elaboración de la base de reglas emerge de la experiencia y conocimiento del operador del invernadero también a un análisis del sistema. Posteriormente se asocia a cada una de las posibles combinaciones de las entradas un valor de salida. La Tabla 4, muestra tres conjuntos difusos B (“Baja”), N (“Normal”) y A(“Alta”) para las variables de entrada que describen los estados de la humedad relativa interna y externa.

Las acciones de control, es decir, los incrementos o reducciones en la variable manipulada (Variación humedad relativa interna), se consigue mediante estos conjuntos difusos: BG(“Bajada grande”), BN(“Bajada normal”), BP(“Bajada pequeña”), SP (“Subida pequeña”), SN(“Subida normal”), SG (“Subida grande”), permiten corregir el error generado entre los valores de referencia con los medidos por los sensores, por ejemplo si la humedad relativa interna es A(“Alta”), (humedad >70%) y la humedad relativa fuera del invernadero es B(“Baja”) (humedad <50%), entonces la salida debe ser SN(“subida norma”), lo que implica se debe disminuir la humedad interna para lo cual se cierra dos cortinas acumulando calor dentro del invernadero.

		Humedad relativa externa(HRE)		
		Baja(B)	Normal(N)	Alta(A)
Humedad relativa interna (HRI)	Baja(B)	BN	BP	SP
	Normal(N)	BG	BG	SN
	Alta(A)	SN	SN	SG

Tabla 4 Matriz de reglas del controlador difuso de la humedad relativa

La base de reglas realizo en formato tipo Mandani como se muestra en el ejemplo siguiente:

Si HRI es B y HRE es B entonces ΔHRI es BN.

2.8 Mecanismo de inferencia

Se empleó el mecanismo de inferencia por factores de confianza, donde dependiendo de los grados de pertenencia se obtiene un factor de confianza por cada regla para la variable de salida. Se empleo el *and* lógico como el mínimo entre estos factores, para luego combinarse estos factores mediante en *or* lógico implementado como máximo.(Figura 9)

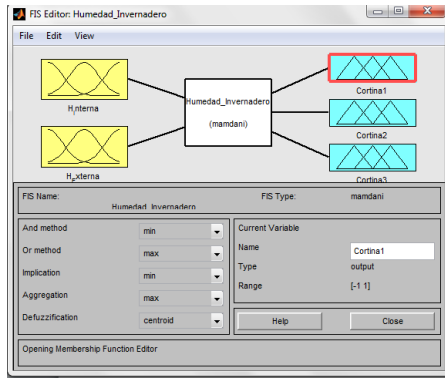


Figura 9 Editor de FIS

2.9 Método de defusificación

Se empleó el método de mandani, obteniendo la salida mediante el método del centroide. En la figura 10 se observa la superficie que representa la salida del controlador Fuzzy como función de las dos señales de entrada.

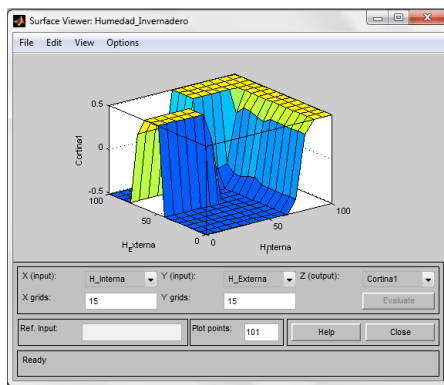


Figura 10 Superficie de control en función de las variables de entrada

Esta superficie de control se caracteriza por ser no lineal. En esta grafica en tres dimensiones con entradas Humedad interna (Eje x), Humedad externa (Eje y) y cortina1 (Eje z) como resultado de salida de control; permite observar la forma y comportamiento que tiene la salida de control.

La zona amarilla presenta una humedad relativa interna muy alta lo que produce que en la salida cortina1=0.5 cierre esta cortina, consecuentemente cuando la humedad interna se acerca a cero, el valor de salida cortina1 disminuye, cuando las dos entradas se acercan a 0, la salida cortina1 toma valores cercanos a -0.5.

2.10 Implementación del controlador en simulink

Para poder simular y comprobar el comportamiento de la respuesta del controlador se implementó en Simulink de Matlab.(Figura 11)

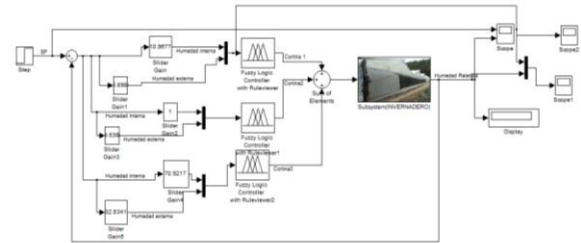


Figura 11 Implementación del controlador difuso en Simulink

En la evolución del proceso de control se tomo como referencia una entrada principal de escalon unitario y bloques de ganancias en las entradas de los bloque de control difuso, junto a estos una sumatoria y posteriormente un subsistema llamado invernadero con ganancias K_p, K_i, K_d .

Los ajuste se ralizaron con la reglas de Ziegler-Nichols y mediante prueba y error, debido a que es muy complejo encontrar una combinacion de parametros K_p, K_i, K_d que muestren un error muy pequeño. En la Figura 12, se muestra la salida de controlador, misma que se caracteriza por ser una señal con oscilaciones aceptables con poca incidencia en las acciones de control.

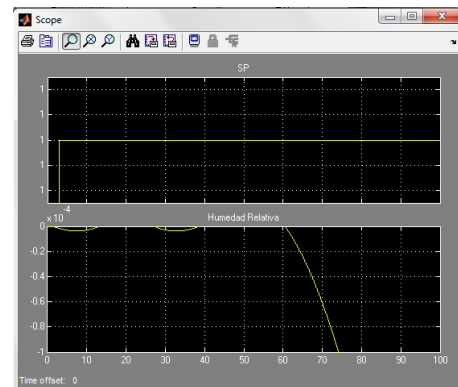


Figura 12 Salida del sistema empleado Control lógico difuso

2.11 Implementación del controlador

La estructura del sistema consta principalmente de un PLC que recibe la señal de los sensores de humedad relativa interna y externa con la información de los sensores, el equipo controla el accionamiento de los actuadores

(Motor-reductores de las cortinas). Formado de esta manera un lazo de control cerrado, también monitorea el estado de los interruptores de límite mismos que detectan cuando las cortinas se abren o se cierran totalmente, la estructura consta también de contactores que permiten la inversión de giro de los motores. Finalmente el usuario puede seleccionar localmente el tipo de control (Manual o automático) de trabajo del sistema.

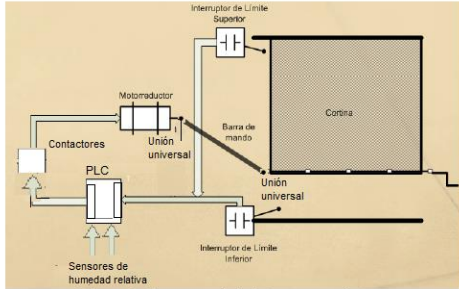


Figura 13 Esquema de etapa de control, junto al sistema telescópico

2.12 Programación del dispositivo electrónico programable

Modo manual

En esta opción de control permite al supervisor del invernadero manipular los actuadores (Cortinas motorizadas) de forma que más convenga y que considere lo más beneficioso para el cultivo.

Para manipular las cortinas cada una de ellas dispone de un botón selector rotativo de tres posiciones para abrir-apagar-cerrar la cortina seleccionada, estas pueden trabajar de forma independiente. (Figura 14).

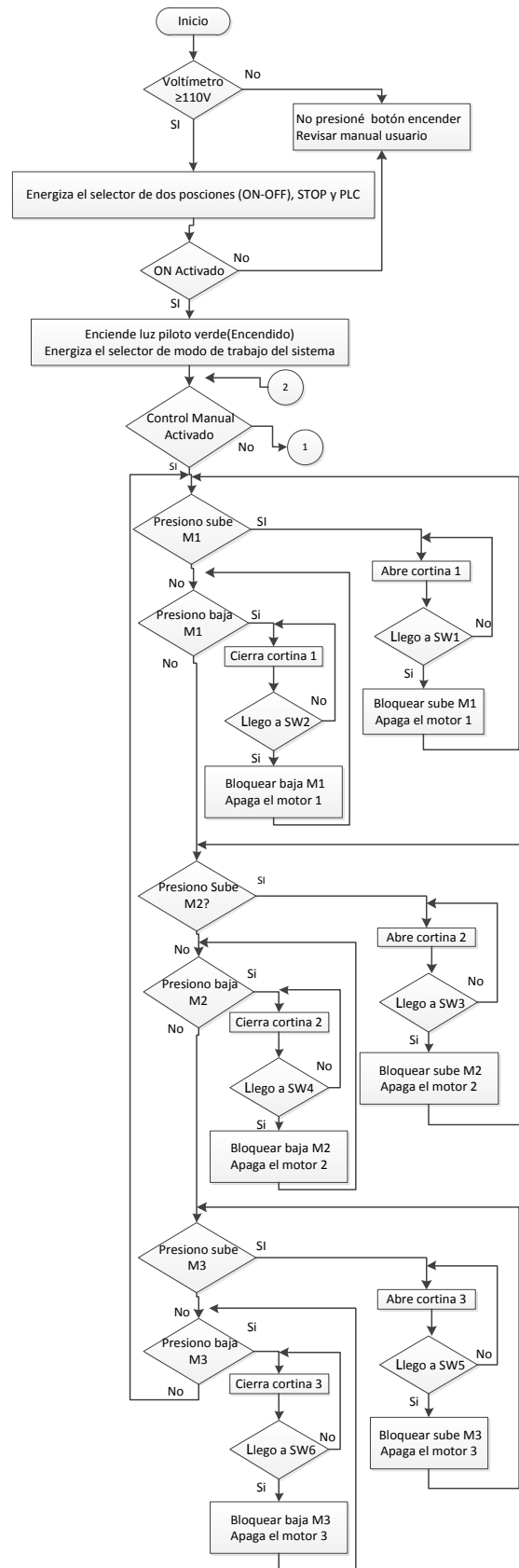


Figura 14 Flujograma modo manual

Modo Automático

El control difuso mantiene la humedad relativa en el interior del invernadero a una consigna programada mediante una apertura inteligente de las aireaciones. La apertura o cierre inteligente de las cortinas necesarias se basa en que tan lejos está la humedad relativa interna actual de la deseada. Y de las condiciones favorables o perjudiciales de la humedad relativa externa (Figura 15).

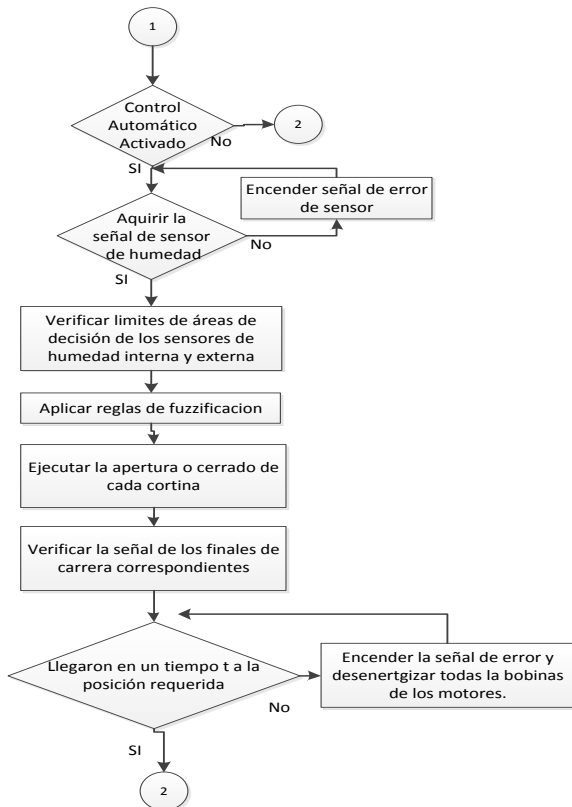


Figura 15 Flujograma modo automático

2.13 Instalación del circuito de potencia

La Figura 13 muestra los elementos empleados en el esquema de fuerza, de la misma manera la conexión de cada elemento.

- Condensadores para el arranque de los motor-reductores trifásicos con una red monofásica de 110V
- Contactores de tres polos de 110V para realizar la maniobra de inversión de giro de los motor-reductores
- Relés térmicos para la protección de sobrecargas de los motores

- Motor-reductores permiten abrir y cerrar las cortinas.

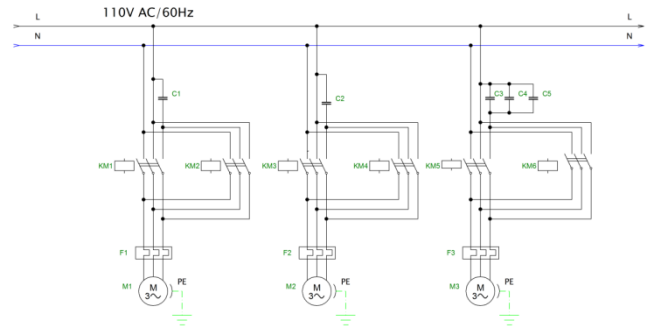


Figura 16 Esquema de fuerza

Los motores trifásicos fueron enlazados a una red monofásica mediante la conexión Steinmetz. Los contactores permiten permutar el conductor con el condensador con los otros dos conductores que lo alimentan, obteniéndose de esta manera la inversión del sentido de giro de los motores.

En dicho circuito se alimentan los motores con dos conductores, y uno de los conductores que queda libre, se coloca un condensador. De esta manera se logra desfase en 90° la fase compartida, de otra manera no se produciría el par de arranque necesario para hacer funcionar los motores.

Esta técnica resulta muy útil ya que los motores son de baja potencia y con ventilador, también porque el funcionamiento de los motores es momentáneo ya que en la apertura o cierre de las cortinas se tarda 35s, Además se ahorra costos en otras formas de conexión o arranque como transformadores o variadores de frecuencia

Entre las desventajas de esta forma de conexión se encuentra disminución del par de arranque y la potencia máxima delos motores

3. Pruebas ajustes y resultados

Después de terminar la instalación tanto del sistema mecánico de apertura de las cortinas como del sistema de control de la humedad relativa, se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema, mismas que permitieron comprobar los parámetros de diseño sistema mecánico y de control así como los criterios de selección. Para realizar los ajustes necesarios.

3.1 Pruebas de parámetros de control

Una vez construido el cuadro eléctrico y antes de realizar el montaje definitivo fue necesario comprobar su

funcionamiento mediante ensayos en vacío (Figura 17). En estas pruebas se comprobó las tenciones que existen en los terminales de los interruptores de igual forma la tensión en los bornes de entrada.



Figura 17 Comprobación de del sistema de control sin carga.

Luego de conectar todas las líneas al cuadro eléctrico realizo la puesta en marcha de los motores con cargas reales (ensayos con carga) acoplado el mecanismo de apertura y cierre de las cortinas a los motor-reductores correspondientes, se verifico el funcionamiento del modo manual y automático del sistema, así como también de las luces piloto de encendido, paro de emergencia y fallas térmicas (Figura 18).

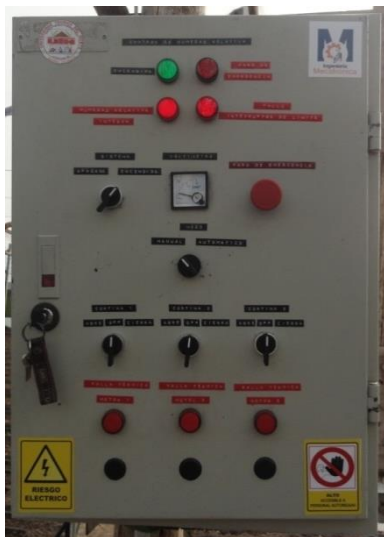


Figura 18 Tablero de control

3.2 Análisis de parámetros de funcionamiento motores

Un aspecto que se pudo evidenciar fue la reducción de los parámetros de funcionamiento del motor. Debido a la

conexión de los motores trifásicos (220V CA) a una red 110V CA monofásica. Mismos que fueron calculados de la siguiente forma.

Parámetro	Trifásica 220V	Monofásica 110V
Potencia nominal	0,309Kw	0.174Kw
Torque nominal	1.74Nm	1.014Nm
Eficiencia	0.66	0.0878

Tabla 5 Parámetros funcionamiento del motor conectado a una red trifásica y monofásica

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la conexión de los motores trifásicos a una red monofásica (Tabla5) la potencia se redujo en 56,30%, eficiencia 13.30% y el torque 58,27% de los valores nominales establecidos en la placa del motores.

4. Conclusiones

- El diseño del sistema de control de humedad relativa del cultivo de tomate bajo invernadero, se desarrolló de acuerdo a los parámetros adecuados tales como: La humedad relativa interna, humedad relativa externa, ventilación natural, experiencia del operador. que permitirá mejorar el cultivo de tomates.
- Se diseñó un sistema de flujo de aire, mediante un mecanismo telescópico motorizado el cual permite gestionar la apertura o cierre desde un PLC en función de las consignas de la humedad relativa tanto interna como externa del invernadero o manualmente por el operador.
- Se implementó el sistema de control con todos los elementos previamente seleccionados. Uniendo el sistema mecánico de las cortinas al gabinete de control.
- Tras realizar pruebas en vacío y con carga del sistema de control de humedad relativa dentro invernadero se observó un buen funcionamiento del sistema tanto en modo manual como automático.
- Con el fin de conservar en buen estado, todos los componentes del sistema, al igual que prevenir accidentes y detallar el funcionamiento; se elaboró un manual de usuario.
- Se realizó la identificación de la función de transferencia con base en datos reales registrados de la humedad relativa en el invernadero esto permitió observar el comportamiento y estado del proceso a controlar facilitando la predicción de posibles

inconvenientes al momento de implementar el sistema de control.

- La conexión de los motores trifásicos a una red monofásica mediante condensadores redujo de 10 a 20% aproximadamente los parámetros de funcionamiento de estos (potencia y torque), pero no afectaron a las necesidades del proyecto.
- El control utilizado para el modo automático, fue de tipo difuso cuya programación está basada en el conocimiento de operador del invernadero y humedad relativa necesaria para el cultivo de tomate. Mismo que facilitó la apertura o cierre de las cortinas de forma automática.

4.1 Recomendaciones

- Para una correcta operación del sistema de control se recomienda leer el manual del usuario adjunto en el Anexo U que permita alargar la vida útil de los elementos, mantener el buen funcionamiento y estado del sistema así como también prevenir accidentes.
- En modo manual dejar los selectores de las cortinas en off después de abrir o cerrar las cortinas ya que si los motores son detenidos solo por los finales de carrera mismos que podrían ser activados por otros elementos externos provocando el encendido de los motores cuando estos no deben hacerlo.
- Como trabajo posterior, se recomienda la optimización del controlador al sobre-pico de la respuesta. De igual forma con el objetivo de disminuir la complejidad del controlador emplee pocas funciones de membresía y reglas.
- Se recomienda emplear el toolbox de control difuso de Matlab cuando los universos de entrada y salida están definidos, ya que esta herramienta facilita la inserción de funciones de membresía y un cambio de tipo de función y el método de acuerdo con las necesidades.
- Como trabajo futuro quedaría la implantación de otras variables que no fueron consideradas en el presente proyecto tales como la temperatura, CO₂, luminosidad, calefacción etc.; mismas que disminuirían el tiempo producción del tomate, por consiguiente aumentaría la eficiencia del sistema.
- Se recomienda emplear un tubo cuadrado de mayor longitud para la unión con el tubo de la cortina y la corredera para tener mayor contacto con el fin de obtener mayor rigidez entre estas partes cuando se realice un mantenimiento correctivo.
- Se recomienda emplear las debidas protecciones contra el ambiente agresivo del clima para mantener en buen

estado cada uno de los elementos los elementos del sistema.

5. Bibliografía

- Benavente, R. M., Garcia, J. L., L.M, N., Elena, F., & Pastor, M. (Diciembre de 2000). Automatismos de control del clima en invernaderos. *Horticultura*(149), 28-42.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Horticultura*(156), 52-54.
- Perales, A., Perdigonos, A., Garcia, J. L., Montero, J. I., & Antón, A. (2003). Control de condensación en invernaderos. *Horticultura*(168), 14-19.
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Guía de Selección para Nudos Universales, Suministros Industriales GRAINGER

Sobre los Autores

José Hernán Colcha Ulcuango, nació en Ibarra, Ecuador, el 27 de febrero de 1989. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional “Dr. Víctor Mideros Almeida”, donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias, especialidad Físico Matemático. Egreso en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2015. Áreas de interés: Energías Renovables, Robótica e inteligencia artificial, Electrónica, Mecánica, Microcontroladores, Automatización y Control industrial. (hernan-colcha@hotmail.com)

Cosme Mejía Ingeniero Electrónico en Automatización y Control, maestrante de Manufactura y Diseño asistido por Computador en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Docente Investigador de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte desde 2010; lector y tutor de varias tesis de pregrado.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

ARTICLE SCIENTIFIC

THEME:

**IMPLEMENTATION OF A FUZZY CONTROL SYSTEM OF RELATIVE
HUMIDITY IN A GREENHOUSE TOMATO**

AUTHOR: JOSÉ HERNÁN COLCHA ULCUANGO

PRINCIPAL: ING. COSME MEJÍA

Ibarra – Ecuador

2016

Implementation of a Fuzzy Control System of Relative Humidity in a Greenhouse Tomato

Sr. José Hernán Colcha Ulcuango¹, Ing. Cosme Damián Mejía²

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio, Ibarra, Ecuador
hernan-colcha@hotmail.com, cdmejia@utn.edu.ec

Summary. *In this article the methodology followed for the implementation of a system of fuzzy control of relative humidity in a greenhouse tomato described. Initially the implementation of the opening mechanism is described for windows. Subsequently the implementation of circuits and selected for controlling the motor -reducers that allow movement of the opening mechanism, just as the development of the control program to operate the system manually or automatically based on rules devices detailed established between internal and external relative humidity in the greenhouse (Fuzzy Control). Finally the opening mechanism and the control system to obtain an autonomous and ideal for controlling the relative humidity by natural ventilation system with two operating modes are integrated.*

Keywords

Control, diffuse, relative humidity, greenhouse, natural ventilation.

1. Introduction

Favorable weather conditions allow emissions to increase production and quality. Therefore, greenhouses are equipped with increasingly sophisticated heating and cooling technologies and systems increasingly complex automation and control. (Benavente, Garcia, L.M, Elena, & Pastor, 2000)

In a simplified form, you can define five levels which can be placed in a greenhouse automation (and many cases of any agricultural facility) (Benavente, Garcia, L.M, Elena, & Pastor, 2000):

- No automatic control : operations are performed manually. This is common in many HVAC greenhouses whose equipment is reduced to the manual opening and closing windows.

- Control by Time: operations are performed automatically at the appointed time by the user. The information is transmitted generally electrically from contacts or output relays automation to solenoid valves, external relays or contactors, which start and stop the corresponding equipment. They are not taken into account climatic variables.

- Control thermostats and similar automation : operations are performed based on a climatic variable with a setpoint, and generally with differential or overlap in the performance. The action is transmitted, as in the previous case, from an output relay thermostat to an external relay or contactor, and their associated equipment. The performance depends on a single variable climate, temperature generally.

- Control by programmable logic controllers (PLC) or similar controllers : the controller has a centralized intelligence received information from the greenhouse (through the PLC inputs) and operates on the actuators (via outputs).

- Distributed control : in this case, there is usually a central computer connected to a series of controllers or PLCs, placed in each sector. From the host computer is displayed and stores information and can send commands to the various sectors.

Relative humidity is an important environmental factor influencing the greenhouse cultivation, excess relative humidity favors the occurrence and distribution of disease, while low humidities cause stomatal closure and reduce the rate of photosynthesis (Huertas, 2008); (Perales, Perdignes, Garcia, Montero, & Antón, 2003).

This work includes the design and implementation of a system of fuzzy control of relative humidity in a greenhouse tomato for exchanging the permanent air between the inside and the outside of lower moisture content, with side vents driven by engine-reductores thus avoiding the effects of high humidity in plants.

2. Materials and Methods

Initially the type mechanism for opening the curtains was defined, considering the various existing systems for greenhouses ventilation. He later designed and selected elements of this mechanism. Such as universal joints, motor reducer, bars

After a study of the internal and external relative humidity in the greenhouse to obtain data in order to generate a mathematical model of the plant was done, this was done with applications System Identification Toolbox and Simulink of Matlab®.

Then the fuzzy controller based on experience and expert knowledge of working in the greenhouse, mathematical model of the plant and tomato relative humidity was designed. Taking as inputs the internal and external humidity, as well as outputs opening and closing curtains. To which belonged functions, control rules, inference mechanism and defusificación defined, this whole process was implemented and simulated in the FIS Editor GUI application (fuzzy) of Matlab®. Y physically implemented in the LOGO plc 12 / 24RC through programming in blocks

Finally all components of the control system was installed: control elements, mechanical elements of the opening mechanism and the tests were performed to check the operation of the system

2.1 Opening mechanism curtains

The proposed system, Figure 1, comprises a geared motor connected to a universal joint type union, which in turn connects to one end of a telescopic arm. The other end of the telescopic arm is connected to a second junction type universal joint which eventually joins the tube curtain. Additionally has a rope tied at the top of the curtain and the second end of the arm.

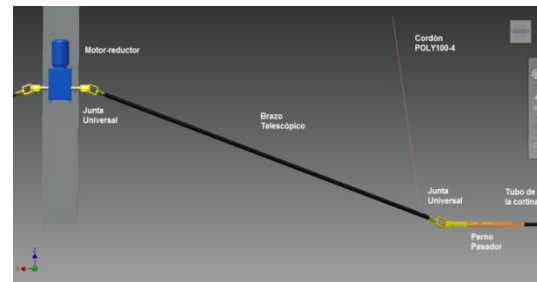


Figure 1 System proposed

The geared motor transmits motion to the telescopic arm through the first universal joint which enables the rotary arm perform movements on flexural and corresponding to the window plane, also enables winding the rope. In turn, transmits the movement arm by a second universal joint to the pipe of the curtain.

2.2 Dimensioning of elements

To determine the size of the control rod, it was considered that the size of it should vary according to the height at which the curtain is located. Requiring the minimum dimension when the curtain is at half the height of the window, while the maximum dimension is required when fully open or closed.

Therefore to calculate the dimension of control rod is first selected the operating angle of the universal joints. Manufacturers recommend angles greater than 0° and 25° lower to ensure that the life of the piece as large as possible. (Units Selection Guide Universal, Industrial Supplies GRAINGER)

An angle of 20° operation was selected and considering that the average height of the curtain is 90 cm (location of the engine).

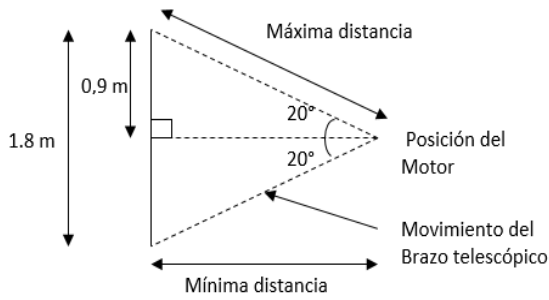


Figure 2 Calculation of the dimension of the bar ■

$$\sin \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotnusa}}$$

$$\sin 20^\circ = \frac{0.9 \text{ m}}{D_{\text{máx}}}$$

$$D_{\text{máx}} = \frac{0.9 \text{ m}}{\sin 20^\circ} = 2.63 \text{ m}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotnusa}}$$

$$\cos 20^\circ = \frac{D_{\text{mín}}}{D_{\text{máx}}}$$

$$D_{\text{mín}} = (2.63 \text{ m}) \cdot \cos 20^\circ = 2.47 \text{ m}$$

Rod extensión

$$\text{Rod extensión} = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}$$

$$\text{Rod extensión} = 2.63 \text{ m} - 2.47 \text{ m} = 0.16 \text{ m} \text{ ó } 16 \text{ cm}$$

Since the extension bar is very short implementing a slide (Figure 3) formed by a square tube and part of a universal joint and a bolt pin it has been proposed. This allows to use a side bar fixed dimensión.

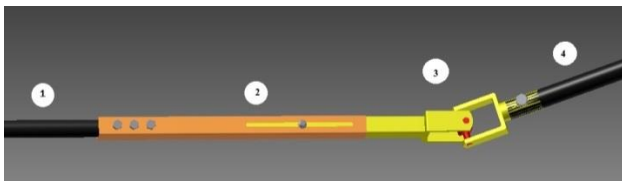


Figure 3 Corredera (1 - pipe , 2 - Corredera , 3 - board universal , 4 - bar control)

To ensure the mechanical strength of the elements, both shear and flexural those parts would be subject was calculated. In all calculations, it was considered as torque , the torque provided by the engine (50 N m) .

For the square tube of the slide dimensions were 20x1.5mm

$$\tau = \frac{T}{2A_{mt}} = \frac{50}{2(0,02 - 0.0015)(0,02 - 0.0015)(0.0015)} = 675.67 \text{ MPa} \quad (50)$$

Similarly shear to the steel tube was calculated , and the following result was obtained

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{50 \text{ Nm}(0.0127 \text{ m})}{\frac{\pi}{32} ((0.0254 \text{ m})^4 - (0.0239 \text{ m})^4)} = 71 \text{ MPa}$$

And the bending stress serious

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I} = \frac{50 \text{ Nm}(0.0127 \text{ m})}{\frac{\pi}{64} ((0.0254 \text{ m})^4 - (0.0239 \text{ m})^4)} = 143 \text{ MPa}$$

Additionally, the maximum deflection would experience analyzing it as a beam was calculated. the following considerations were taken into account : the bar is supported only at its ends, the only load acting on it is generated by its own weight, and such a burden be presented at the center of the bar as it is of uniform section (1 "diameter) .

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{5wL^3}{384EI} = \frac{5(3,547 \text{ N})(2,50 \text{ m})^3}{384(200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})(5,50 \times 10^{-5} \text{ Kg} - \text{m}^2)} \approx 6.4179 \times 10^{-8} \text{ m} \quad \text{o} \quad 6 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Based on the results obtained can secure the mechanical strength of the parts , since carbon steel has a shear modulus (G) of 79.3GPa , much higher than the results obtained. (Budynas & Nisbett, 2008)

2.3 Description of the plant

This control system is intended to prevent excessive relative humidity in the greenhouse . Keeping within preset parameters depending on the tomato crop , internal and external relative humidity in the greenhouse. For , this system acts on the opening or closing of the curtains .

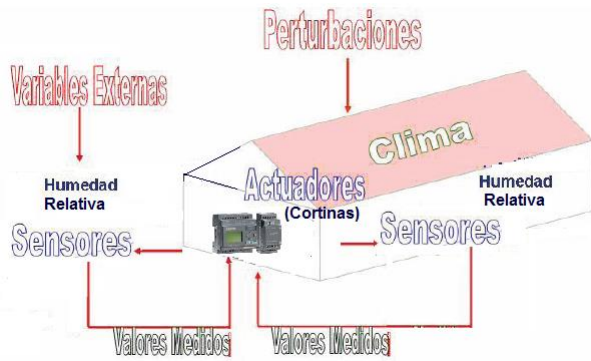


Figure 4 Block diagram of the system

2.4 Mathematical Modeling

The mathematical model of internal relative humidity in the greenhouse is obtained with the identification system method in which the input data (Time) and output (relative humidity) of the process , recorded through measurements and tests in the greenhouse was analyzed . the knowledge and experience of the expert (greenhouse operator) was also considered. This analysis and simulation was performed in applications System Identification Toolbox y Simulink de Matlab®.

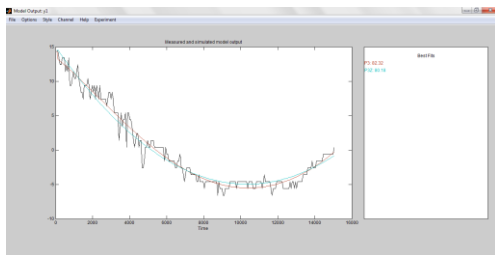


Figure 5 Output Model P3 (3 Poles) and P3Z (3-position and a zero)

Processed model transfer function

$$G(s) = \frac{Kp}{(1+Tp1*s)(1+Tp2*s)(1+Tp3*s)} \quad (1)$$

Con $Kp = 13203$

$$Tp1 = 0.001$$

$$Tp2 = 4.3004e+008$$

$$Tp3 = 3045.6$$

$$G(s) = \frac{13203}{1309729824*s^3 + 1.3097e+012*s^2 + 4.3004e+008*s + 1}$$

2.5 Design of fuzzy controller

Figure 6 shows the input variables (internal and external relative humidity) and output (curtains) used to counter excessive relative humidity with natural ventilation or in due case raising the temperature in this way through the control windows keep the relative humidity to cause harmful condensation and avoid problems by very strong winds and rain entry in the greenhouse , additionally for its ease of implementation.

Additionally the user can locally configure the operating mode and access to information internal moisture indicator lights located on the control board

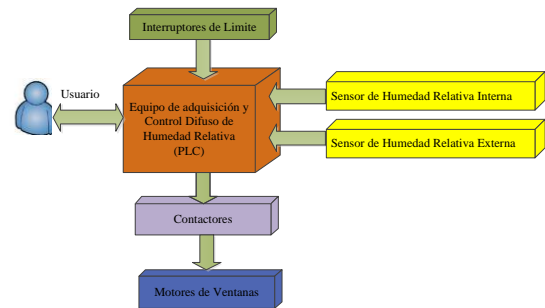


Figure 6 Block diagram of fuzzy control system of relative humidity

2.6 Membership functions

It begins by stating the functions, setting the ranges in which they will work both inputs and outputs.

For the input variable relative humidity inside a universe of discourse was used with a range of 0-100 % this based on the relative humidity sensors have a measuring range of 20 to 100 % , also because the measurements recorded relative humidity within the greenhouse in the studio environment is within that range . In addition fuzzy sets , "Low" , "Normal" and "High" indicating the same major states , with their operating ranges as shown in Table 1 was used.

% Internal relative humidity (HRI)		
Description	Set Name	Operating range
Low	B	0 - 50%
Normal	N	40 - 80%
High	A	70 - 100%

Table 1 Internal Operating range Relative humidity

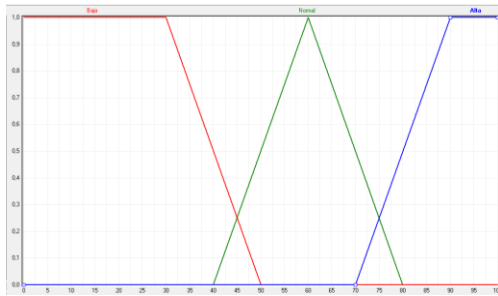


Figure 7 Belonged function for internal relative humidity

Similarly, for the input variable external relative humidity , the universe together and functions belonged defined for internal humidity but with different operating ranges of these functions , providing a gap with ranges used in moisture (Table was used 2).

% Internal relative humidity (HRI)		
Description	Set Name	Operating range
Low	B	0 a 50%
Normal	N	45 a 75%
High	A	70 a 100%

Table 2 Operating range Relative humidity External

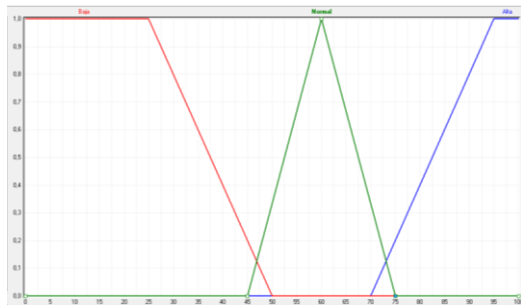


Figure 8 function belonged to the external relative humidity

For output variable variation of the internal moisture ventilation rate perimeter 12.69 % providing the three side curtains as universe of discourse five fuzzy sets considered : BG ("big Descent ") , BN ("normal descent ") , BP (" Bajada small ") , SP (" small rise ") , SN ("normal Rise ") , SG ("big Up") , in order to obtain better control of internal humidity of the greenhouse (Table 3) .

Variation of internal humidity			
Set Name	Description	Operating range	Variation of humidity (%)
BG	Bajada grande	Open cortinas 1,2 y 3	+6.428%
BN	Bajada normal	Open cortinas 1 y 2	+3.548%,
BP	Bajada pequeña	Open cortina 2	+2.712%
SP	Subida pequeña	close cortina 2	-2.712%
SN	Subida normal	close cortinas 1 y 2	-3.548%,
SG	Subida grande	close cortinas 1,2 y 3	-6.428%

Table 3 Description of the fuzzy sets of the variation of the internal relative humidity

2.7 Control Rules

The development of the rule base emerges from the experience and knowledge of the greenhouse operator also an analysis of the system. Subsequently it associated with each of the possible combinations of the inputs an output value . Table 4 shows three fuzzy sets B ("Low") , N ("Normal") and A ("High") for the input variables that describe the states of the internal and external relative humidity.

Control actions , ie , increases or decreases in the manipulated variable (change internal relative humidity) is achieved by these fuzzy sets : BG ("big Descent ") , BN ("normal descent ") , BP (" Bajada small ") , SP (" small rise ") , SN (" normal Rise ") , SG (" big Up ") , can correct the error generated between the reference values measured by the sensors , for example if the humidity internal relative is a ("High") , (humidity > 70 %) and relative humidity outside the greenhouse is B ("Low") (humidity <50 %) , then the output should be SN (" upload rule ") , which means should be reduced indoor humidity for which two curtains closed accumulating heat inside the greenhouse.

		Humedad relativa externa(HRE)		
		Baja(B)	Normal(N)	Alta(A)
Humedad relativa interna (HRI)	Baja(B)	BN	BP	SP
	Normal(N)	BG	BG	SN
	Alta(A)	SN	SN	SG

Table 4 Matrix rules of fuzzy controller relative humidity

The rule base performed Mandani type format as shown in the following example:

If HRI es B and HRE es B so ΔHRI is BN.

2.8 Inference Mechanism

The inference mechanism by factors of trust, where depending on the degree of membership of a confidence factor is obtained for each rule for the output variable was used. logical and was employed as the minimum between these factors , then combinarestos factors by logical or implemented in maximum. (Figure 9).

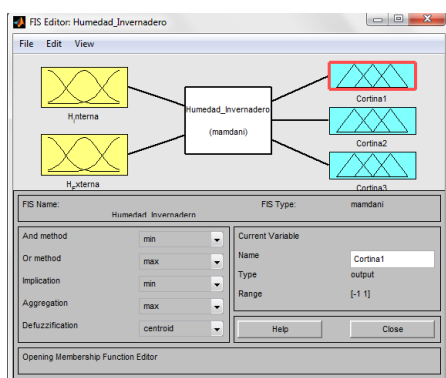


Figure 1 Editor of FIS

2.9 Method defusificación

Mamdani method was used , obtaining exit through the centroid method . In Figure 10 the surface representing the output of the fuzzy controller as a function of the two input signals is observed .

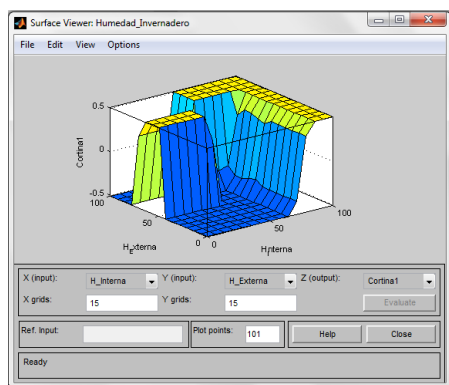


Figure 10 Control Surface function of the input variables

This control surface is characterized as nonlinear . In this chart in three dimensions with internal humidity inputs (X axis) , external humidity (Y axis) and cortina1 (z axis) as a result of control output ; It allows to observe the shape and behavior that is out of control.

The yellow area has a very high internal relative humidity which causes the output cortina1 = 0.5 close this curtain , consequently when the internal humidity approaches zero , the value of cortina1 output decreases when the two inputs are close to 0, the output cortina1 takes values close to -0.5 .

2.10 Implementation of the controller in Simulink.

To simulate and test the behavior of the controller's response was implemented in Matlab Simulink . (Figure 11)

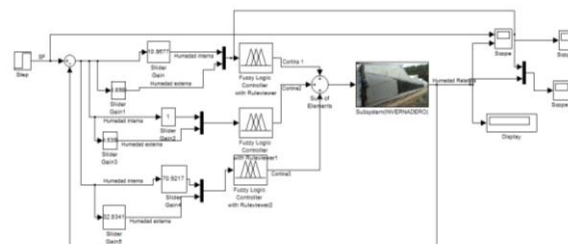


Figure 11 Implementation of fuzzy controller in Simulink

In the evolution of the control process it was taken as reference a main entrance of echelon unit and blocks of profits in the inputs of the fuzzy control block , alongside these posteriormente a summation and a subsystem called greenhouse profits Kp,Ki,Kd.

The setting is ralisaron with Ziegler -Nichols rules and by trial and error , because it is very complex to find a combination of parameters Kp, Ki , Kd showing a very small error. In Figure 12, the controller output , same that are characterize as being a signal with acceptable oscillations with little impact on control actions shown .

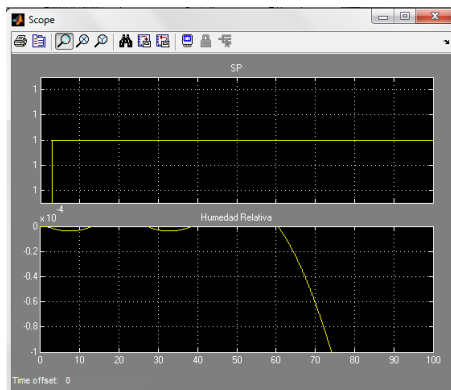


Figure 12 Output Control system used fuzzy logic

This option allows the supervisor to control greenhouse manipulate the actuators (motorized curtains) so that it deems appropriate and most beneficial to the crop.

To manipulate the curtains each button has a rotary selector three positions to open - shut - close the selected shade , they can work independently . (Figure 14).

2.11 Implementation driver

The structure of the system consists mainly of a PLC which receives the signal from the sensors internal and external relative humidity with the information from the sensors , the computer controls the drive of the actuators (Motor - reducers curtains) . Thus formed one closed control loop , also monitors the status of the limit switches which detect when the same curtains open or close completely , the structure also consists of contactors which allow reverse rotation of the motors . Finally the user can locally select the type of control (manual or automatic) system work .

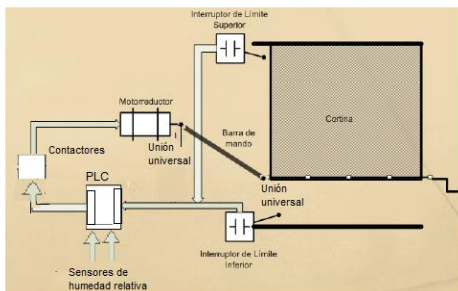


Figura 2 Esquema de etapa de control, junto al sistema telescópico

2.12 Programming the programmable electronic device

Manual mode

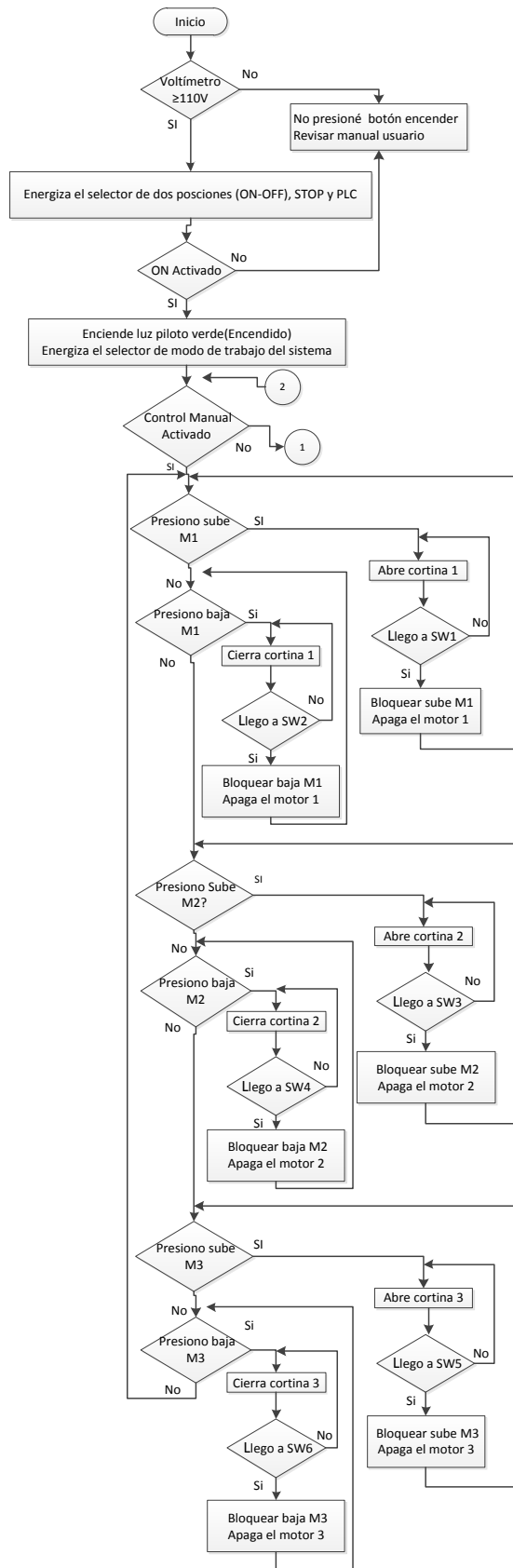


Figure 14 Flow chart manual mode

Automatic mode

Fuzzy control maintains the relative humidity inside the greenhouse at a setpoint programmed using a smart opening vents . Intelligent opening or closing the curtains needed is based on that is so far the current internal relative humidity desired . And favorable or adverse external conditions of relative humidity (Figure 15).

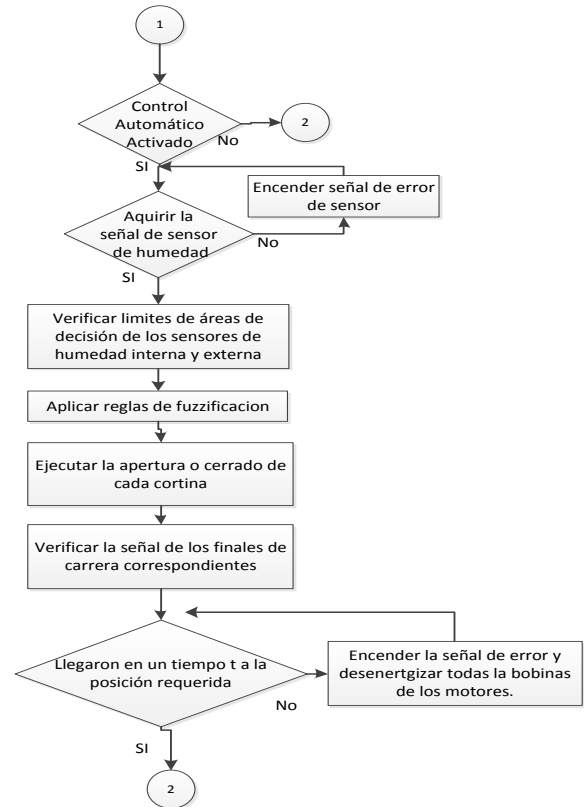


Figure 15 Flowchart Automatic mode

2.13 Installing the power circuit

Figure 13 shows the elements used in the scheme of force , in the same way the connection of each element .Condensadores para el arranque de los motor-reductores trifásicos con una red monofásica de 110V

- Contactor 110V three poles for maneuver reverse rotation of the motor- reducers
- Thermal relays for overload protection of motors
- Motor -reducers allow open and close the curtains.

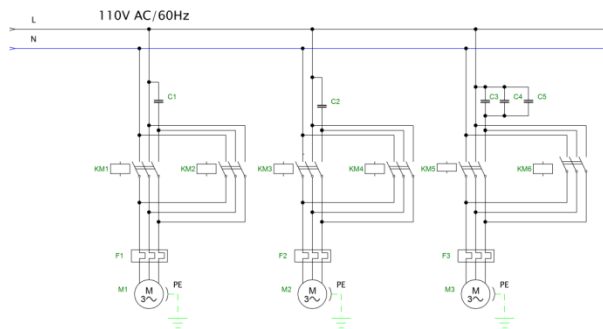


Figure 16 Scheme forcé

Three-phase motors were linked to a single-phase network by Steinmetz connection. Contactors allow the driver swap with the capacitor with the other two conductors that feed , thereby obtaining the reversal of the direction of rotation of the engines .

In said circuit fed engines two conductors , and one of the conductors is free , a capacitor is placed . Thus is achieved offset by 90° the shared phase , not otherwise required starting torque would be produced to operate the engines.

This technique is very useful because the engines are low power and fan, also because the engine operation is momentary because in the opening or closing of the curtains it takes 35s, also cost saving in other forms of connection or starting as transformers or frequency inverters.

The disadvantages of this form of connection is decreased torque and maximum power engine models

3. Adjustments and tests results

After completing the installation of both the mechanical opening of the curtains as the control system relative humidity testing system performance, same that allowed to design parameters mechanical and control system and the criteria it was made of selection. To make the necessary adjustments.

3.1 Testing control parameters

Once built the electrical panel and before performing the final assembly was necessary to check its operation by testing in vacuum (Figure 17). In these tests the tensions that exist in the terminals of the switches in the same way

the voltage at the input terminals was checked.



Figure 17 Checking control system uncharged .

After connecting all the lines to the electrical panel conducted the launch of engines with actual loads (testing load) coupling the mechanism for opening and closing the curtains to the reducing - engine corresponding operation manual mode was verified and automatic system , as well as the pilot light , emergency stop and thermal faults (Figure 18) lights.

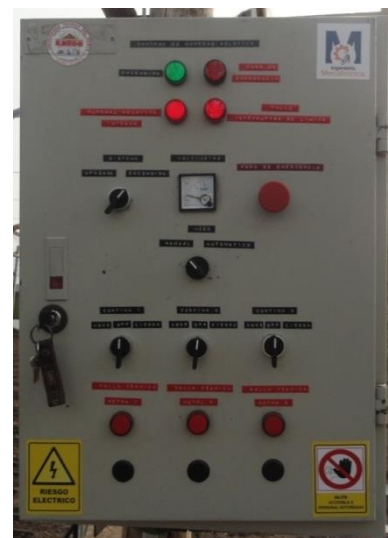


Figure 18 Dashboard

3.2 Analysis engine operating parameter

One aspect that was evident was the reduction of engine operating parameters . Due to the connection of three phase motors (220V AC) to a 110V single-phase AC network. Same that were calculated as follows .

Parámetro	Trifásica 220V	Monofásica 110V
Potencia nominal	0,309Kw	0.174Kw
Torque nominal	1.74Nm	1.014Nm
Eficiencia	0.66	0.0878

Table 5 Parameters operation of the motor connected to a three-phase and single-phase

According to the results obtained by connecting three phase motors to a single phase supply (Table 5.) power was reduced by 56.30 % , 13.30% efficiency and torque 58.27 % of the nominal values set in the engine plate

4. Conclusions

- The design of the control system relative humidity greenhouse tomato crop, was developed in accordance with the appropriate parameters such as: Internal relative humidity, external relative humidity, natural ventilation, operator experience. which will improve the cultivation of tomatoes.
- a system airflow was designed by a motorized telescopic mechanism which allows to manage the opening or closing from a PLC according to the instructions of both internal and external relative humidity in the greenhouse or manually by the operator.
- control system with all previously selected elements are implemented. Uniting the mechanical system of the curtains to the control cabinet.
- After testing in vacuum and system load control greenhouse relative humidity within a properly functioning system it was observed in both manual and automatic.
- In order to keep in good condition, all system components, as well as prevent accidents and to detail the operation; A user manual was developed.
- identification of the transfer function based on actual data recorded relative humidity in the greenhouse this allowed to observe the behavior and state control process facilitating the prediction of possible problems when implementing the control system was performed.
- The connection of three-phase motors to a single-phase network with capacitors reduced from 10 to about 20% operating parameters of these (power and torque), but did not affect the project's needs.
- The control used for automatic mode was diffuse type whose programming is based on knowledge of the greenhouse operator and relative humidity needed for growing tomatoes. Same that facilitated the opening or closing of the curtains automatically.

4.1 Recommendations

- For proper operation of the control system please read the accompanying user in Annex U that allows to extend the life of the elements, maintaining the proper functioning and system status as well as prevent accidents manual.
- In manual mode, leave the selectors of the curtains off after opening or closing the curtains as if the engines are stopped only by the limit switches themselves that could be activated by other external elements causing ignition engines when they do not should.
- As further work, optimizing the controller to the on-peak response is recommended. Likewise with the aim of reducing the complexity of the controller employs few membership functions and rules.
- It is recommended to use fuzzy control toolbox of Matlab when the input and output universes are defined, as this tool facilitates the insertion of membership functions and a change function type and the method according to the needs.
- As a future work would be the implementation of other variables that were not consider in this project such as temperature, CO₂, light, heating etc .; same time to decrease the production of tomato, consequently increase the system efficiency.
- It is recommended to use a square tube of greater length for connection to the tube and the slide curtain to have more contact in order to obtain greater rigidity between these parts when a corrective maintenance is performed.
- It is recommended to use proper protection against aggressive environment climate to keep in good condition each of the elements of the system elements.

5. Bibliografía

- Benavente, R. M., García, J. L., L.M, N., Elena, F., & Pastor, M. (Diciembre de 2000). Automatismos de control del clima en invernaderos. *Horticultura*(149), 28-42.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Horticultura*(156), 52-54.
- Perales, A., Perdigones, A., García, J. L., Montero, J. I., & Antón, A. (2003). Control de condensación en invernaderos. *Horticultura*(168), 14-19.
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Guía de Selección para Nudos Universales,
Suministros Industriales GRAINGER

Jose Hernan Colcha Ulcuango, was born in Ibarra , Ecuador , on 27 February 1989. He completed his secondary education at the National College " Dr. Victor Almeida Mideros " , where he earned a Bachelor of Science , Mathematical Physics specialty. Exit at the Technical University North in Mechatronics Engineering in 2015. Interest Areas : Renewable Energy , Robotics and Artificial Intelligence , Electronics, Mechanics, Microcontrollers , Industrial Automation and Control.
(hernan-colcha@hotmail.com)

Cosme Mejía Electronic Engineer in Automation and Control, maestrante Manufacturing and Computer Aided Design at the University of the Armed Forces ESPE, Educational Researcher Career Mechatronics Engineering at the Technical University of North since 2010 ; reader and tutor of several undergraduate thesis .