



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**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**

## DECLARACIÓN

Yo, José Hernán Colcha Ulcuango, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature reads "Jose Colcha".

---

José Hernán Colcha Ulcuango

## CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado “Implementación de un sistema de control difuso de la humedad relativa en un invernadero de tomate”, presentado por el señor José Hernán Colcha Ulcuango, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

A handwritten signature in blue ink, written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to read 'Cosme Mejía'.

Ing. Cosme Mejía  
DIRECTOR



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	100319590-4	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	José Hernán Colcha Ulcuango	
<b>DIRECCIÓN:</b>		Ejido de Caranqui	
<b>EMAIL:</b>		hernan-colcha@hotmail.com	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	—	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0939561200

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN UN INVERNADERO DE TOMATE
<b>AUTOR (ES):</b>	José Hernán Colcha Ulcuango
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	29 de Junio del 2016
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mecatrónica
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Cosme Mejía

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, José Hernán Colcha Ulcuango, con cédula de identidad Nro. 100319590-4, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de octubre del 2016

**EL AUTOR:**



---

José Hernán Colcha Ulcuango



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **José Hernán Colcha Ulcuango**, con cédula de identidad Nro. **100319590-4**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN UN INVERNADERO DE TOMATE**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de octubre del 2016

---

José Hernán Colcha Ulcuango

Cédula: 100319590-4

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida, guiarme siempre en el camino del bien y por haberme permitido culminar esta meta.

A mis padres por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí. Sin su apoyo, colaboración, inspiración y guía habría sido imposible llevar a cabo este trabajo.

A mis hermanos por estar conmigo y ayudarme siempre. Por sus consejos y aliento brindado en todo momento, de mi etapa estudiantil.

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, y de manera especial al personal docente quienes me impartieron sus conocimientos y sus sabios consejos,. Principalmente al Ing. Cosme Mejía quien, con voluntad, dirigió este trabajo de grado.

El Convento “Hermanas Misiones Siervas del Divino Espíritu” por colaboración para llevar a cabo el proyecto.

José Hernán Colcha Ulcuango

## **DEDICATORIA**

Este humilde trabajo de grado se lo dedico a mi familia y en especial a mis padres, quienes realmente le dan significado a todo esto.

José Hernán Colcha Ulcuango

# ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
DECLARACIÓN .....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	xxii
RESUMEN .....	xxiii
SUMMARY .....	xxiv
PRESENTACIÓN .....	xxv
CAPÍTULO I .....	1
1 ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5 ALCANCE.....	4
1.6 ENFERMEDADES CAUSADAS POR HONGOS.....	5
1.6.1 TIZÓN TARDÍO .....	5
1.6.2 TIZÓN TEMPRANO .....	5
1.6.3 BOTRITYTIS .....	6
1.6.4 MANCHA GRIS DEL TOMATE .....	7
1.7 VENTAJAS DE LOS INVERNADEROS.....	8
1.8 MATERIALES DE CUBIERTA .....	9
1.8.1 VIDRIO.....	9
1.8.2 PLÁSTICOS RÍGIDOS.....	9
1.8.3 PLÁSTICOS FLEXIBLES.....	10

1.9 AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS .....	10
1.9.1 INCONVENIENTES EN LA AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS .....	11
1.10 CLASIFICACIÓN DE LOS INVERNADEROS POR NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN .....	11
1.10.1 INVERNADERO DE BAJA TECNOLOGÍA .....	11
1.10.2 INVERNADERO DE MEDIA TECNOLOGÍA .....	12
1.10.3 INVERNADERO DE ALTA TECNOLOGÍA .....	12
1.11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO..	12
1.12 CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS .....	13
1.12.1 VENTILACIÓN .....	13
1.12.2 REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN DE AGUA .....	15
1.12.3 SISTEMAS DE SOMBREO .....	15
1.13 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.....	16
1.14 ESTRUCTURAS DE VENTILACIÓN .....	16
1.14.1 TIPOS DE VENTANAS.....	16
1.14.2 MECANIZACIÓN DE VENTANAS .....	19
1.15 CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.....	22
1.15.1 TÉCNICAS DE OPERACIÓN .....	22
1.16 CONTROL DIFUSO .....	23
1.16.1 VENTAJAS DEL CONTROL DIFUSO .....	23
1.16.2 ESTRUCTURA DE UN CONTROL DIFUSO .....	24
1.16.3 MODELOS DE CONTROL DIFUSO .....	25
CAPÍTULO II.....	29
2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	29
2.1 INTRODUCCIÓN .....	29
2.1.1 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS .....	30
2.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PARTES DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS .....	34
2.2 CÁLCULOS DE LA VENTILACIÓN NATURAL .....	39
2.3 MOTOR-REDUCTOR .....	40
2.3.1 SELECCIÓN DE LOS MOTOR-REDUCTORES .....	41
2.4 CALCULO DE CONDENSADORES .....	49

2.5 JUNTAS UNIVERSALES .....	51
2.5.1 SELECCIÓN DE LAS JUNTAS UNIVERSALES .....	52
2.6 SELECCIÓN DE CONTACTORES Y RELÉS.....	57
2.7 DISPOSITIVOS DE MANDO .....	62
2.7.1 SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES DE LÍMITE .....	63
2.8 SENSORES DE HUMEDAD.....	64
2.8.1 PSICOMETRÍA.....	64
2.8.2 DESPLAZAMIENTO.....	65
2.8.3 RESISTIVO .....	65
2.8.4 CAPACITIVO.....	65
2.9 SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA.....	67
2.10 SELECCIÓN DEL PLC .....	69
2.10.1 MODULO DE EXPANSIÓN E IMPLEMENTOS.....	72
2.11 SELECCIÓN DEL CALIBRE DE CONDUCTORES.....	72
CAPÍTULO III .....	73
3 DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE HUMEDAD RELATIVA.....	73
3.1 INTRODUCCIÓN.....	73
3.2 ESTUDIO DE HUMEDAD AMBIENTE.....	73
3.3 MODELO DEL SISTEMA HUMEDAD RELATIVA .....	73
3.3.1 HISTORIA.....	73
3.3.2 IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO CLIMÁTICO .....	74
3.3.3 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	74
3.3.4 SELECCIÓN DE MÉTODO PARA HALLAR EL MODELO.....	74
3.3.5 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA .....	74
3.3.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	82
3.3.7 COMPENSACIÓN DEL SISTEMA .....	84
3.4 DISEÑO DEL CONTROL DIFUSO .....	86
3.4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA .....	86
3.4.2 DEFINICIÓN DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS DEL SISTEMA .....	87
3.4.3 REGLAS DIFUSAS .....	90
3.4.4 SIMULACIÓN DE LAS REGLAS DIFUSAS DEL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA EN MATLAB.....	91
3.4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR EN SIMULINK.....	93

3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO .....	94
3.5.1 CONTROL MANUAL .....	95
3.5.2 CONTROL AUTOMÁTICO (DIFUSO).....	95
3.6 PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PROGRAMABLE ....	96
3.7 TABLERO DE CONTROL.....	100
3.8 INSTALACIÓN DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS .....	101
3.9 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....	104
3.9.1 INSTALACIÓN DEL PLC Y SUS COMPONENTES .....	104
3.9.2 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA .....	105
3.9.3 INSTALACIÓN DE SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA.....	106
CAPÍTULO IV .....	107
4 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE LA HUMEDAD RELATIVA .....	107
4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	107
4.2 PRUEBAS DE PARÁMETROS DE CONTROL .....	107
4.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO MOTORES .....	108
4.4 AJUSTE DEL SISTEMA.....	116
4.4.1 AJUSTES EN LA INSTALACIÓN MECÁNICA.....	116
4.4.2 AJUSTES EN LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONTROL.....	117
4.5 COSTOS.....	118
4.5.1 COSTOS DIRECTOS .....	118
4.5.2 COSTOS INDIRECTOS.....	121
4.5.3 COSTO TOTAL .....	121
4.6 ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO .....	122
4.6.1 COSTO DE PRODUCCIÓN SIN CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA .....	122
4.6.2 COSTO DE PRODUCCIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA.....	123
4.6.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN .....	124
4.6.4 RAZÓN COSTO BENEFICIÓ .....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES .....	128

BIBLIOGRAFÍA .....	129
ANEXOS .....	135
ANEXO A: Dibujo isométrico del invernadero.....	135
ANEXO B: Tabla Generalidades de motor trifásico SIEMENS 1LA7 070-4YC60137	
ANEXO B1: Especificaciones generales del tubo de acero mecánico redondo..	139
ANEXO C: Especificaciones técnicas del Contactor LS Metasol MC-9b AC110V 50/60Hz .....	140
ANEXO D: Hoja de datos del relé térmicos SIEMENS SIRIUS 3RU2116-1DB0 .	141
ANEXO E: Hoja de datos del relé térmicos SIEMENS SIRIUS 3RU2116-1CB0 .	143
ANEXO F: Características del interruptor de límite marca mounjen modelo ME- 8104.....	145
ANEXO G: Hoja de datos de Sensor de Humedad Relativa AOSONG AMT1001	146
ANEXO H: Hoja de datos del PLC LOGO! 12/24RC .....	147
ANEXO I: Hoja de datos de la fuente SIEMENS LOGO!Power 24 V/2.5 A. (6EP1332-1SH43) .....	149
ANEXO J: Hoja de datos del módulo de expansión para señales digitales LOGO! DM8 12/24R (6ED1055-1MB00-0BA1).....	151
ANEXO K: Hoja de datos del módulo de expansión para señales analógicas LOGO! AM2 12/24 V DC (6ED1055-1MA00-0BA0).....	153
ANEXO L: Tabla Valores normalizados cables A.W.G .....	155
ANEXO M: Tabla Humedad Relativa interna registrada en el invernadero “% de humedad” .....	156
ANEXO N: Código Matlab de obtención de características dinámicas de sistema <i>Para el sistema en lazo abierto</i> .....	159
ANEXO O: Creación sistema difuso en Fuzzy Logic Toolbox™ .....	163
ANEXO P: Implementación del controlador en simulink .....	167
ANEXO Q: Encuesta.....	168
ANEXO R: Código de programación gráfica de LOGO!.....	170
ANEXO S: Diagrama eléctrico y control.....	171
ANEXO T: Arquitectura del tablero de control .....	173
ANEXO U: Manual de usuario .....	175

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Planta afectada por Tizón temprano.....	6
Figura 1.2 Tallos con ataque de Botrytis .....	7
Figura 1.3 Hoja afectada con mancha gris del tomate .....	8
Figura 1.4 Ventanas laterales.....	14
Figura 1.5 Ventilador para ventilación forzada. ....	15
Figura 1.6 Ventana enrollable.....	17
Figura 1.7 Ventana plegable.....	17
Figura 1.8 Ventanas deslizantes en un invernadero de polietileno.....	18
Figura 1.9 Ventana giratoria .....	18
Figura 1.10 Mecanismo de manejo manual de ventanas laterales y cenitales. ....	19
Figura 1.11 Accionamiento mecánico aplicando Motor-reductor en ventilación cenital .....	20
Figura 1.12 Ventilación automática con motor-reductor GW30 (De Gier) .....	20
Figura 1.13 Sistema de apertura y cierre de ventilación lateral. Motor-reductor con barra telescópica acoplado a tubo enrollador (Válido para pantalla o plástico). ...	21
Figura 1.14 A la izquierda, banda lateral con CXP enrollable (De Gier) y, a la derecha motor-reductor con guía GXP (De Gier). ....	22
Figura 1.15 Estructura básica de un control difuso.....	24
Figura 2.1 Invernadero Convento Hermanas Misioneras Siervas del Divino Espíritu .....	30
Figura 2.2 Sistema de apertura manual .....	30
Figura 2.3 Banda lateral con motor-reductores y brazos telescópicos (De Gier)..	33
Figura 2.4 Partes del Sistema telescópico seleccionado.....	33
Figura 2.5 Cálculo de la dimensión de la barra. ....	34
Figura 2.6 Tubo cuadrado de junta universal .....	35
Figura 2.7 1.-Tubo de la cortina; 2.- Acoplamiento móvil; 3.-Junta universal 4.- Barra de mando.....	38
Figura 2.8 Diámetro del tubo de las cortinas .....	41
Figura 2.9 Motor-reductores de las cortinas frontales izquierda y derecha .....	46
Figura 2.10 Mecanismo de ventanas pared parte posterior.....	48
Figura 2.11 Motor-reductor de las cortinas posteriores .....	49
Figura 2.12 Unión universal o cardan y sus partes.....	51

Figura 2.13 Distribución de acciones en una junta .....	53
Figura 2.14 Dimensiones de la cruceta.....	53
Figura 2.15 Área de corte.....	54
Figura 2.16 Filete de soldadura.....	54
Figura 2.17 Tubo soldado de la horquilla .....	55
Figura 2.18 Unión empernada.....	56
Figura 2.19 Junta universal diseñada.....	57
Figura 2.20 Contactor LS Metasol MC-9b AC110V 50/60Hz .....	61
Figura 2.21 Relé térmico SIEMENS SIRIUS tipo 3RU2116-1CB0 .....	61
Figura 2.22 Interruptor mounjen modelo ME-8104.....	63
Figura 2.23 Sensor de temperatura y humedad relativa AOSONG AMT1001 .....	69
Figura 3.1 Importación de datos de Excel a Matlab .....	75
Figura 3.2 Comando ident de Matlab .....	75
Figura 3.3 Entrada de datos importados .....	76
Figura 3.4 Señales de entrada u1 (Tiempo) y salida y1 (Humedad) en función del tiempo. ....	76
Figura 3.5 Selección de rango.....	77
Figura 3.6 Ampliación de la gráfica de la señal un función del tiempo .....	77
Figura 3.7 Eliminación de medios en función del tiempo .....	78
Figura 3.8 Grafica sin el offset.....	78
Figura 3.9 Proceso de modelado función de transferencia con tres polos .....	79
Figura 3.10 Proceso de modelado función de transferencia con tres polos y un cero .....	79
Figura 3.11 Modelo de salida P3(3 Polos) y P3Z(3Polos y un cero) .....	80
Figura 3.12 Respuesta de del modelo con tres polos frente a una señal escalón	80
Figura 3.13 Función de transferencia con 3 polos.....	81
Figura 3.14 Respuesta escalón unitario e impulso.....	82
Figura 3.15 Distribución de polos del sistema G(s) en lazo abierto.....	83
Figura 3.16 Distribución de polos del sistema G(s) en lazo cerrado .....	83
Figura 3.17 Respuesta impulso y escalón unitario del sistema retroalimentado	84
Figura 3.18 Diagrama de entradas y salidas para el control difuso en el invernadero .....	87

Figura 3.19 Función de pertenecía de la humedad relativa interna para las cortinas.....	88
Figura 3.20 Función de pertenecía de la humedad relativa externa para las cortinas.....	89
Figura 3.21 Editor de reglas .....	91
Figura 3.22 Representación de las reglas expresadas con funciones de pertenencia.....	92
Figura 3.23 Superficie de control Humeda_Invernadero .....	93
Figura 3.24 Implementación del controlador difuso en Simulink.....	93
Figura 3.25 Salida del sistema empleado Control lógico difuso .....	94
Figura 3.26 Esquema de etapa de control, junto al sistema telescópico .....	95
Figura 3.27 Diagrama de bloques del sistema de control difuso de la humedad relativa.            96	
Figura 3.28 Diagrama de flujo del programa .....	97
Figura 3.29 Sistema de control de humedad a) Fotografía frontal del gabinete, b) Fotografía del cableado interno .....	101
Figura 3.30 Instalación del motor-reductor .....	102
Figura 3.31 Acoplamiento de Junta universal al motor-reductor y barra de mando .....	102
Figura 3.32 Unión de perfil cuadrado al tubo redondo de la cortina .....	103
Figura 3.33 Instalación de la segunda junta universal.....	103
Figura 3.34 Instalación del PLC LOGO y módulos de expansión.....	104
Figura 3.35 Esquema de fuerza. ....	105
Figura 3.36 Instalaciones los elementos de potencia .....	106
Figura 3.37 Instalación de sensor de humedad relativa .....	106
Figura 4.1 Comprobación de del sistema de control sin carga.....	107
Figura 4.2 Sistema de control a) Luz piloto encendido b) Mensaje en PLC Paro de emergencia activado .....	113
Figura 4.3 Control manual a) Girando el selector de tres posiciones b) Apertura de la cortina.....	114
Figura 4.4 Interruptores de posición .....	114
Figura 4.5 a) Luces piloto encendido (verde), humedad relativa interna (roja izquierda), falla interruptor de limite (roja derecha) b) PLC indicando valores de la humedad interna y externa en modo automático.....	115
Figura 4.6 Barras de mecanismo de las cortinas.....	116

Figura 4.7 Reubicación de los interruptores de límite .....	117
Figura 4.8 Caja metálica de protección del motor-reductor .....	117
Figura 4.9 Calibración de los relés térmicos.....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación entre el modelo de control Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang .....	27
Tabla 2.1 Mecanismos de apertura y cierre de ventanas en invernaderos .....	31
Tabla 2.2 Especificaciones generales de las partes del mecanismo de la ventana .....	38
Tabla 2.3 Datos técnicos nominales del Motor-reductor de la ventana frontal izquierda y derecha .....	46
Tabla 2.4 Factores de servicio (F.S.).....	47
Tabla 2.5 Irreversibilidad en base al ángulo de la hélice .....	48
Tabla 2.6 Datos técnicos nominales del Motor-reductor de las cortinas posteriores .....	49
Tabla 2.7 Los valores aproximados de la capacidad del condensador .....	50
Tabla 2.8 Clasificación de contactores en relación con la categoría de empleo... 58	
Tabla 2.9 Tabla de especificaciones y selección de contactores magnéticos tipo MC .....	60
Tabla 2.10 Relés de sobrecarga bimetalicos SIRIUS Innovations 3RU21 .....	62
Tabla 2.11 Características de operación de MINI LIMIT SWITCH serie ME .....	64
Tabla 2.12 Ventajas y desventajas de sensores de humedad relativa. ....	66
Tabla 2.13 Características de algunos sensores de humedad relativa .....	67
Tabla 2.14 Necesidades del sistema.....	69
Tabla 2.15 Cuadro comparativo de Controladores Lógicos Programables .....	70
Tabla 3.1 Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica $K_{cr}$ y periodo crítico $P_{cr}$ (segundo método).....	84
Tabla 3.2 Vector de coeficientes .....	85
Tabla 3.3 Descripción de los conjuntos difusos de la humedad relativa interna... 88	
Tabla 3.4 Descripción de los conjuntos difusos de la humedad relativa externa.. 89	
Tabla 3.5 Descripción de los conjuntos difusos de la variación de la humedad relativa interna .....	90
Tabla 3.6 Matriz de reglas del controlador difuso de la humedad relativa .....	91
Tabla 3.7 Descripción de entradas y salidas del programa de control .....	99
Tabla 4.1 Costos de materiales de mecanismo de las cortinas.....	119
Tabla 4.2 Costos de materiales de instalaciones eléctricas y control.....	119

Tabla 4.3 Costos de mano de obra .....	120
Tabla 4.4 Costos de materiales varios .....	120
Tabla 4.5 Costos indirectos de la instalación del sistema .....	121
Tabla 4.6 Costo directo total.....	121
Tabla 4.7 Costo total del proyecto.....	122
Tabla 4.8 Costo de producción sin sistema de control de la humedad.....	122
Tabla 4.9 Utilidades por cosecha sin sistema de control de la humedad .....	123
Tabla 4.10 Costo de producción con el sistema de control de la humedad .....	123
Tabla 4.11 Utilidades por cosecha con el sistema de control de la humedad...	124
Tabla 4.12 Ganancia neta .....	124
Tabla 4.13 Periodo de recuperación con base en la ganancia neta.....	125
Tabla 4.14 Periodo de recuperación con base en la ganancia adicional.....	125

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Regla Mamdani.....	26
Ecuación 1.2 Regla Takagi-Sugeno-Kang.....	26
Ecuación 2.1 Esfuerzo cortante para tubos de pared delgada cerrados .....	35
Ecuación 2.2 Esfuerzo cortante. Para una barra solida circular en torsión .....	36
Ecuación 2.3 Segundo momento polar del área. Para una sección transversal redonda hueca.....	36
Ecuación 2.4 Esfuerzo normal flexionante .....	36
Ecuación 2.5 Segundo momento del área alrededor del eje z. Para sección circulo hueco.....	36
Ecuación 2.6 Deflexión máxima de la barra .....	37
Ecuación 2.7 Área de apertura de ventilación .....	39
Ecuación 2.8 Porcentaje de ventilación .....	39
Ecuación 2.9 Porcentaje de ventilación del perímetro .....	40
Ecuación 2.10 Porcentaje de ventilación del techo .....	40
Ecuación 2.11 Masa del tubo de la cortina ( $m_t$ ).....	41
Ecuación 2.12 Área del círculo hueco .....	42
Ecuación 2.13 Masa del plástico ( $m_p$ ).....	42
Ecuación 2.14 Masa total ( $m$ ) .....	42
Ecuación 2.15 Torque .....	42
Ecuación 2.16 Momento de inercia sección cilindro hueco .....	42
Ecuación 2.17 Velocidad instantánea.....	43
Ecuación 2.18 Velocidad angular instantánea.....	43
Ecuación 2.19 Aceleración angular instantánea.....	44
Ecuación 2.20 Torque total.....	44
Ecuación 2.21.Potencia de selección .....	47
Ecuación 2.22 Torque del reductor.....	47
Ecuación 2.23 Rendimiento del reductor .....	47
Ecuación 2.24 Capacidad del condensador .....	50
Ecuación 2.25.Momento .....	53
Ecuación 2.26. Resistencia a la fatiga por torsión bajo esfuerzos fluctuantes .....	53
Ecuación 2.27 Módulo resistente de la sección.....	57

Ecuación 4.1 Angulo característico entre cada fase.....	109
Ecuación 4.2 Frecuencia angular .....	109
Ecuación 4.3 Potencia activa generada o consumida .....	110
Ecuación 4.4 Potencia nominal .....	110
Ecuación 4.5 Potencia aparente.....	110
Ecuación 4.6 Potencia reactiva .....	110
Ecuación 4.7 Factor de potencia .....	111

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AAIC:	Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar
AC:	Corriente Alterna
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de carbono
DC	Corriente Directa
ESPAC:	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
HR:	Humedad Relativa
INEC:	Instituto Nacional de Estadística y Censos
ITESM :	Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
LAI:	Índice de Área de la Hoja
PC:	Policarbonato
PLC:	Controlador lógico programable
PMM:	Polimetacrilato de metilo
PVC:	Cloruro de vinilo
PVF:	Polifluoruro de vinilo
UE:	Unión Europea
UTN:	Universidad Técnica del Norte
UV:	Ultra violeta

## RESUMEN

La finalidad de este proyecto es implementar un sistema de control de la humedad relativa en un invernadero de cultivo de tomate, empleando lógica difusa y la ventilación natural a través de las cortinas para lograr un control efectivo y eficiente de la circulación del aire hacia el invernadero y mantener la humedad adecuada del tomate de esta forma mejorar la calidad de producción y facilitar esta actividad agrícola. Inicialmente se seleccionó y diseñó el mecanismo telescópico de apertura para las ventanas accionado por un motor-reductor independiente para cada cortina y este a su vez por un control de la humedad relativa, esta ventilación brinda la renovación del aire aprovechando las condiciones climáticas internas y externas. Posteriormente se implementó los circuitos y dispositivos electrónicos adecuados para el control de los motor-reductores (Accionamiento e inversión de giro) que brindan movimiento al mecanismo de apertura, de igual forma el desarrollo del programa de control para diversas funciones. El sistema de control de la humedad relativa brinda al usuario dos formas de control. El control manual (Abrir o cerrar las cortinas mediante selectores rotativos de tres posiciones del panel frontal de tablero) o automático (Control difuso, reglas establecidas dentro de programa entre la humedad relativa interna y externa del invernadero). En la etapa de control se empleó el PLC LOGO para realizar el control manual y automático, y demás funciones (Fallas de sensores, visualización del estado de la humedad relativa), así como también detectar los porcentajes de humedad relativa interna y externa ubicados dentro y fuera del invernadero. Para facilitar iteración, manejo y visualización del operario con el sistema de control difuso de la humedad relativa se realizó un tablero de control mismo que posee sus botones y luces con su respectiva función, anexando un manual de usuario para guiar al usuario en el cual se detalla las partes, funcionamiento y mantenimiento del sistema de control. Los elementos del proyecto fueron seleccionados con base en algún criterio, tablas, datos recopilados mediante pruebas de campo realizadas en el invernadero y datos de deficiencias del sistema anterior.

## SUMMARY

The purpose of this project is to implement a system of control of relative humidity in a greenhouse tomato crop, using fuzzy logic and natural ventilation through the curtains for effective and efficient control of the airflow to the greenhouse and maintain adequate moisture tomato thus improve the quality of agricultural production and facilitate this activity. Initially it was selected and designed the telescopic opening mechanism for windows driven by a geared motor independently for each curtain and this in turn by controlling the relative humidity; the ventilation provides fresh air in leveraging internal climatic conditions and external. Later the appropriate circuits and electronic devices for controlling the reducing - motor (drive and reverse rotation) to provide movement to the opening mechanism, just as the development of the control program was implemented for various functions. The control of relative humidity provides the user two ways of controlling the manual control ( open or close the curtains by three-position rotary switches on the front panel board) or automatic ( Fuzzy control , set rules within program between moisture internal and external regarding the greenhouse). In the control stage is used the PLC LOGO for manual and automatic control, and other functions (Failure of sensors, status display relative humidity), as well as detect the percentages of internal and external relative humidity and located within outside the greenhouse. To facilitate iteration, operator control and monitoring system to be fuzzy control of relative humidity control board itself which has its buttons and lights with their respective function, attaching a User Manual to guide the user was conducted in which details the parts, operation and maintenance of the control system. The elements of the project were selected based on certain criteria, tables, data collected through field tests in the greenhouse and data deficiencies of the previous system.



## **PRESENTACIÓN**

Este documento está estructurado en cuatro capítulos que describen la metodología seguida para la elaboración de este proyecto, seguidamente de conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el capítulo 1 de este escrito se explica la estructura del proyecto y los objetivos, justificación y alcance del mismo además se exponen consideraciones para el diseño de los invernaderos, las ventajas que ofrece esta técnica de cultivo, materiales de cubierta empleados, automatización de invernaderos, clasificación, y climatización, asimismo se muestra fundamentos del control difuso.

Posteriormente, en el capítulo 2 se selecciona los elementos, iniciando con mecanismo para la apertura y cierre de las cortinas, cálculo de sus partes. De igual forma los elementos para el sistema de control (contactores, relés, sensores, PLC y sus módulos) y finalmente la selección de los conductores empleado para cada dispositivo.

En el capítulo 3 se presenta el estudio del ambiente realizado previo al modelamiento matemático del sistema control difuso de la humedad relativa, se realiza el diseño del control difuso y diagramas del sistema, se explica su funcionamiento, la programación del dispositivo electrónico, se detalla el tablero de control y sus partes así como también la implementación e instalación del mecanismo de apertura de cortinas, sistema de control, circuito de potencia e instalación de los sensores de humedad relativa.

El capítulo 4 detalla las pruebas realizadas, ajustes realizados y resultados obtenidos posteriores a la implementación de todo el sistema de control difuso de la humedad relativa. Además se realiza un cálculo del costo de la implementación del proyecto, se detallan los costos directos e indirectos y totales implicados en el proyecto y finalmente se realiza un análisis del costo beneficio del proyecto para determinar la viabilidad del proyecto. Finalmente se concluye el trabajo, exponiendo los resultados obtenidos y se agregan algunas recomendaciones que se obtuvieron en el desarrollo del proyecto.

En anexos se agrega documentación con características de los elementos empleados en la instalación del mecanismo de apertura de las cortinas y control, adicionalmente se adjunta los planos y diagramas de las diferentes partes que posee el sistema.

# CAPÍTULO I

## 1 ASPECTOS GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender las plantas de la acción de los factores ambientales adversos: fuertes lluvias, vientos y bajas temperaturas. Esta instalación permite un control de determinados parámetros reproductivos, en lo más cercano posible al óptimo para el desarrollo de los cultivos que se establezcan (Serrano Cermeño, 2005; AAIC, 2004).

Mediante esta técnica de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar las producciones y disponer de productos fuera de temporada (Castilla Prados, 2007).

Debido a sus múltiples beneficios que ofrece y los cambios climáticos, el cultivo en invernadero ha experimentado un gran crecimiento con una notable diversificación de formas alrededor del mundo. Especialmente en los últimos tiempos debido a la evolución de los materiales de cubierta y las exigencias de calidad del mercado. Junto a este crecimiento, ha existido un desarrollo de tecnologías agrícolas que han mejorado el rendimiento de producción en el invernadero; mayormente dedicadas al control de clima y riego (ITESM, 2007; Castilla Prados, 2007 y Gimbert, 2007).

Mediante esta breve introducción, en este capítulo se da una explicación de la fundamentación teórica que brindará soporte para la realización del presente proyecto, inicialmente se exponen aspectos específicos del proyecto de investigación y posteriormente aspectos generales de los cultivos bajo invernadero.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El tomate es una planta herbácea de clima cálido, su crecimiento puede ser indeterminado, cuando el tallo crece regularmente y la planta emite un botón floral cada tres hojas o determinado, cuando el tallo principal emite entre 2 y 6 botones florales y se detiene con un botón en la posición terminal (Rodríguez, Tabares, & Medina, 2001). Anteriormente se solía cultivar en campos abiertos, pero en los últimos años el aumento de la demanda y con ella su cultivo, producción y comercio se utiliza la producción bajo invernadero para asegurar la producción y calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es muy difícil mantener los cultivos de una manera adecuada a lo largo de todo el año. Uno de los principales factores que intervienen en el desarrollo de los frutos, es la cantidad de humedad relativa óptima para la planta. Actualmente los métodos de revisión y control de la humedad no son eficientes, los mismos que pueden afectar en la calidad y cantidad de producción.

Hoy en día las tareas de control del ambiente se las realiza de forma manual, lo que involucra mayores costos, un aumento de personal y generalmente no se realiza un control adecuado; ya que en el interior del invernadero existen muchas variables relacionadas entre sí. Uno de los principales problemas en el control de la humedad ambiente del invernadero, son los cambios bruscos del clima que se generan en exterior del invernadero influyendo en los valores óptimos de humedad ya que fuera de estos incide en la eficiencia de la explotación agrícola.

El cultivo de tomate al no tener un control adecuado de la humedad relativa un exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades, también reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen, acarreado con ello baja calidad y cantidad de producción.

Por lo tanto con la implementación del sistema de control de humedad del ambiente, la humedad será monitoreada constantemente y realizará constantes cambios para que esta no afecte en la calidad de la cosecha permitiendo el establecimiento de perfiles muy preciso de las condiciones ambientales. De esta forma se facilitará la actividad agrícola volviéndola más eficiente.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de control difuso de humedad relativa en un invernadero de cultivo de tomate.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros de control de humedad ambiente que necesita el cultivo de tomates en invernadero para desarrollar el diseño del sistema.
- Diseñar el sistema de flujo de aire de entrada y salida para que estos puedan ser controlados por un dispositivo programable.
- Implementar el sistema de control de humedad ambiente con todos los componentes seleccionados.
- Comprobar el perfecto funcionamiento del sistema de control de humedad y verificar con los parámetros establecidos en el diseño.
- Elaborar un manual del usuario y mantenimiento para el sistema de control de humedad.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Algunos agricultores optan por el cultivo bajo invernadero para obtener productos en cualquier temporada, uno de los principales cultivos es el tomate. Mantener condiciones adecuada para las plantas de tomate durante de todo el año es uno de los retos del agricultor. Un factor importante es el control de humedad ambiente.

Controlar la humedad de una forma eficiente y precisa cuando se encuentra cerca de los 80% puede ser el punto más crítico para caracterizar los productos en el sector agrícola. Los métodos de control y monitoreo convencionales de la humedad relativa realizados en el cultivo de tomate bajo invernadero son poco eficientes e incorrectos, esto trae consigo mayor costo en mano de obra y aplicación de riegos inadecuados.

Considerando estas deficiencias en la forma de control de humedad ambiente del cultivo de tomate bajo invernadero se ha optado por la implementación de un sistema de control automático de la humedad el mismo que podrá ser controlado

por el agricultor de manera fácil y de esta forma se reducirá costos en mano de obra, enfermedades causadas por la exceso de humedad y se mejorará incremento de la calidad de producción.

Actualmente es necesario invertir en los métodos que permitan mejorar la eficiencia del control de la humedad ambiente principalmente en cultivos en los cuales las plantas se encuentran en la etapa de florecimiento y fructificación en el caso del tomate ya que la humedad es un factor importante para la actividad de la planta y debe ser controlado adecuadamente para generar beneficios y evitar pérdidas.

## **1.5 ALCANCE**

El presente proyecto está orientado al mejoramiento del control de humedad ambiente que actualmente tienen los cultivos de tomate bajo invernadero. El sistema de control de humedad ambiente se lo controlará de forma manual y automática. La opción de control manual permite seleccionar cualquier dispositivos para el ingreso, la circulación y salida del aire interior, esta opción de control se efectuará de forma independiente de cualquier grado de humedad interna de invernadero y de acuerdo con las necesidades del agricultor, la opción automática actuará dependiendo del programa que se tenga en el sistema como el porcentaje de humedad ambiente del invernadero permitiendo ingreso de aire o salida, mediante ventilación natural, las dos formas actuarán de manera automática .

El sistema de control de humedad ambiente tendrá sensores de humedad relativa ubicados en el interior del invernadero estos sensores brindarán la señal para el ingreso de flujo de aire, circulación y salida de mismo. También se utilizará un sensor de humedad relativa en el exterior del invernadero que actuaran junto con los internos para que el controlador y actuadores abran o cierren las ventanas para conseguir la humedad relativa deseada.

El sensor de humedad relativa ubicado en el exterior del invernadero servirá para determinar la cantidad de humedad relativa exterior y la presencia o no de lluvia misma que origina depósitos de rocío y cambios de temperatura. Los cambios efectuados de la humedad relativa interna del invernadero serán monitoreados en un tablero de control.

## **1.6 ENFERMEDADES CAUSADAS POR HONGOS**

### **1.6.1 TIZÓN TARDÍO**

Esta enfermedad es causada por un hongo llamado *Fusicoccum*, mismo que se multiplica rápidamente y es capaz de atacar numerosas plantas. Generalmente el tizón tardío se desarrolla con humedad elevada superior al 90% acompañada de temperaturas de 10 a 25°C, noches frías y días moderadamente cálidos. La enfermedad se caracteriza por la aparición en las hojas de manchas grandes y de aspecto grasiento, que más tarde se van secando en la parte central. En los frutos, las manchas son grandes, primeramente de color oliváceo y lisas, y más tarde de color oscuro y de superficie rugosa. Frecuentemente suele propagarse a través de la lluvia, viento, goteras en los invernaderos, el hongo penetra por los estomas.

El control de esta enfermedad se suele hacer con fungicidas, disminuyendo el riego (si es gravedad), aire-arando bien en invernadero y eliminando hojas, ramas y plantas enfermas. (Caguana & Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar, 2003; Rodríguez, Tabares, & Medina, 2001)

### **1.6.2 TIZÓN TEMPRANO**

Los síntomas de enfermedad son aparición de pequeñas manchas pardas concéntricas en las hojas. En el tallo estas manchas son alargadas, cuya parte central es gris, frutos con mancha marrón oscuro y consecuentemente caída de la flor (Figura 1.1). Se dispersa mediante plantines infectados, semillas, viento, agua y herramientas. El hongo es más activo cuando ocurren temperaturas moderadas (27 y 30 °C) y alta humedad ambiental, como en los días nublados con llovizna. La mejor manera de manejar esta enfermedad es mediante un control preventivo aplique fungicidas protectores. (Caguana & Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar, 2003; Flores, Buono, & Giorgini, 2012)



**Figura 1.1** Planta afectada por Tizón temprano

Fuente: (Flores, Buono, & Giorgini, 2012)

### **1.6.3 BOTRITYTIS**

Los síntomas de esta enfermedad son: presencia de anillos concéntricos en las hojas. Moho gris en las hojas florales, frutos y tallos. Anillos blancos o amarillentos en los frutos (Figura 1.2). La principal forma de dispersión es mediante el viento, debido a sus esporas livianas. Las condiciones ambientales para la ocurrencia son temperaturas moderadas y humedad relativa alta. Plantaciones realizadas en alta densidad, en periodos lluviosos o en invernaderos mal ventilados. El manejo se lo realiza evitando plantaciones en zonas de microambientes de alta humedad, cultivos en alta densidad. Al terminar el cultivo incorporar los restos vegetales al suelo para acelerar su descomposición, evitar el exceso de vigor, disminuir fertilización nitrogenada.

(Caguana & Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar, 2003; Flores, Buono, & Giorgini, 2012)



**Figura 1.2** Tallos con ataque de Botrytis

Fuente:( Caguana & Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar, 2003)

#### **1.6.4 MANCHA GRIS DEL TOMATE**

Se manifiesta en las hojas jóvenes, tallos, tanto en plantines como en plantas adultas. Las lesiones son pequeñas, de color castaño oscuro y borde poco uniforme. Luego las lesiones se hacen claras en el centro y algunas veces se desprenden dejando la hoja con muchas perforaciones (Figura 1.3). Puede manifestarse varias veces en el mismo ciclo de cultivo, cuyo agente causal sobrevive en restos de cosecha o infectando otras solanáceas. Las condiciones ambientales para su desarrollo son temperaturas 25 a 28°C y humedad relativa alta. La diseminación se produce por lluvias, viento y labores culturales. El manejo se lo realiza empleando variedades o híbridos resistentes. Rotación de cultivos. Rápida descomposición de los restos de cosecha. Aplicación de fungicidas de manera preventiva. (Flores, Buono, & Giorgini, 2012)



**Figura 1.3** Hoja afectada con mancha gris del tomate

Fuente: (Flores, Buono, & Giorgini, 2012)

## **1.7 VENTAJAS DE LOS INVERNADEROS**

De acuerdo con Serrano Zoilo (2005), las ventajas que brindan los invernaderos a los cultivos de hortalizas, flores y ornamentales son las siguientes:

- Cultivo fuera de época y obtención de mayor precocidad.
- Realizar cultivos en determinadas zonas climáticas y épocas estacionales en que no es posible hacerlo al aire libre.
- Disminuir el tiempo de los ciclos vegetativos de las plantas, permitiendo obtener un mayor número de cosechas por año.
- Aumento de producción
- Mejor control de las plagas y enfermedades
- Realización de cultivos en zonas climáticas adversas.
- Obtención de mejor calidad.
- Mayor control de plagas y enfermedades.
- Ahorro en agua de riego.
- Menos riesgos catastróficos.
- Trabajar con más comodidad y seguridad

## **1.8 MATERIALES DE CUBIERTA**

Las cubiertas de los invernaderos deben brindar una transmisión de luz adecuada, ser económicas, resistentes, ligeras y durables. Así, se han desarrollado varios materiales que satisfacen estas necesidades. Matallana A, y Montero, J. (1995) considera la respuesta agronómica, propiedades del material y de la estructura del invernadero, como indicadores para elección del material de cubierta. Por otra cada cubierta influye en el invernadero de manera única y el clima del invernadero determina la apariencia final y la productividad de la cosecha (Lesur, L. 2011).

Algunos de los materiales más utilizados como cubierta en invernaderos son los siguientes:

### **1.8.1 VIDRIO.**

El vidrio es un material de excelentes características ópticas y térmicas, como cubierta de invernadero. Resiste bien el envejecimiento y la polución y no es combustible. Su principal inconveniente es baja resistencia a los impactos. Además es pesado y caro. Entre sus variantes están el vidrio hortícola, vidrio catedral y los vidrios de baja emisibilidad. Todos ellos son muy caros y exigen estructuras de invernadero sofisticadas. (Castilla Prados, 2007, p. 113)

### **1.8.2 PLÁSTICOS RÍGIDOS.**

Las placas rígidas de materiales de materiales plásticos tienen una duración elevada (más de 10 años), con poca reducción de transmisión lumínica. Tienen buenas características térmicas y menor peso que el vidrio, por lo que necesitan estructuras más livianas que la del vidrio.

El más empleado es el poliéster con fibra de vidrio cuya duración de mejora con un revestimiento de lámina de PVF en su cara exterior. Las planchas de policarbonato simples y el poliéster han sido las más extendidas, pues las del PVC se deforman con alta temperatura. En general, su empleo se ha priorizado en cultivos de gran valor añadido, y al igual que el vidrio, cuando se necesita una gran durabilidad del material de cubierta. Por otra parte las placas alveolares son una alternativa para evitar las pérdidas térmicas, pero limitas la luz y su costo es elevado. El PMMA y PC son comúnmente empleados. (Castilla Prados, 2007)

### 1.8.3 PLÁSTICOS FLEXIBLES.

Los filmes plásticos más empleados en invernaderos son el polietileno de baja densidad, el EVA y sus derivados, frecuentemente incorporando en filmes multicapa varias capas de materiales diversos. Los films de PVC plastificado son poco empleados, salvo en la región oriental asiática. De igual manera poliéster y PVF.

En cuanto a sus características debido a sus pequeños espesores tienen pesos muy bajos. Sus propiedades mecánicas son buenas, resistiendo al granizado mejor que el vidrio, aunque se reblandecen a altas temperaturas y son muy frágiles a temperaturas bajas. En condiciones climáticas normales son estables. Su resistencia química es buena pero el empleo de algunos pesticidas puede reducir su duración. El envejecimiento de los materiales plásticos implica una disminución de sus propiedades mecánicas y radiométricas, al degradarse con el tiempo (Castilla Prados, 2007).

## 1.9 AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS

Un sistema automático está constituido por máquinas que son capaces de efectuar actividades con el mínimo de supervisión humana. Para lograr esto, debe realizarse un diseño basado en la situación que va a automatizarse y debe definirse el grado de automatización. Existen varias categorías de automatización:

- **Automatización fija**, es un sistema en el cual la secuencia de las operaciones de proceso (o ensamble) está determinada por la configuración del equipo.
- **Automatización programable**, empleada cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse por medio de Software a las variaciones del producto.
- **Automatización flexible**, adecuada para un rango de producción medio ya que permite el cambio de equipos para el manejo de distintos productos, generalmente fabricados por lote.
- **Automatización total**, donde el proceso se lleva a cabo sin intervención humana.

Aplicando esta categorización a la automatización de un invernadero es más conveniente ajustar el proceso de automatización a un tipo de automatización programable; principalmente, por los diversos cambios en las características de los productos (color, tamaño, forma, especie, etc.) y por las variaciones en las condiciones climáticas que influyen directamente en la producción. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **1.9.1 INCONVENIENTES EN LA AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADEROS**

Por otra parte, existen muchas situaciones donde la automatización es una solución a los problemas administrativos y productivos. Sin embargo, cada proceso es distinto y su automatización demanda distintos retos técnicos y económicos. Particularmente, en los sistemas de producción de cultivos automatizados los diseñadores se enfrentan a los siguientes problemas:

- Un ambiente de trabajo menos estructurado comparado con otro tipo de industrias.
- Los cambios dinámicos en los que cambia la forma y tamaño de los objetos producidos (plantas)
- La escasez de dispositivos de medición confiables que midan el crecimiento de la planta.
- La diversidad de prácticas de administración de los agricultores.
- El bajo grado de complejidad deseado por los usuarios en la operación y mantenimiento del sistema
- La alta dificultad de justificar una mayor inversión de capital.
- El pequeño margen de error permitido debido a la fragilidad del producto (frutos) (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

## **1.10 CLASIFICACIÓN DE LOS INVERNADEROS POR NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN**

### **1.10.1 INVERNADERO DE BAJA TECNOLOGÍA**

Este tipo de invernadero está cubierto de polietileno de 150-200um. Es construido con materiales de la región en la que se instala como madera o bambú. No se cuenta con dispositivos para regular el clima y es generalmente usado en climas

fríos ya que incrementa la temperatura entre 6 y 10°C con respecto al exterior. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **1.10.2 INVERNADERO DE MEDIA TECNOLOGÍA**

Este invernadero es construido con tubos de acero galvanizado y es cubierto por hojas de polietileno de 200 µm de espesor. La estructura es enterrada en la tierra para dar soporte. En cuanto al equipo que comúnmente se encuentra están los ventiladores con termostatos para el control de la temperatura. Paredes húmedas y arreglos de aspersores para la humedad. Este tipo de invernaderos tiene una vida útil de 20 años para la estructura y 2 años para la cubierta y son adecuados para climas secos y cálidos. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **1.10.3 INVERNADERO DE ALTA TECNOLOGÍA**

Esta categoría difiere de los sistemas de media tecnología por el sistema de control que en él se encuentra. Un sistema de control automático basado en el uso de la computadora que permite considerar varias variables del clima para un manejo más adecuado de los equipos.

Este tipo de invernadero es adecuado para cualquier condición climática; sin embargo el diseño de la estructura, material y equipo de operación es relevante para que la tecnología utilizada en la automatización trabaje eficientemente. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

## **1.11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**

Además de los beneficios en el rendimiento, la automatización de un invernadero, ofrece algunas ventajas adicionales como las que se enumeran: (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

- Las computadoras reciben continuamente la información individualizada del sistema. Con una programación y estructura apropiada se pueden proveer condiciones adecuadas para el cultivo a lo largo de todo el proceso de producción.

- Las computadoras pueden almacenar la información de los sensores, desplegar y procesarla de acuerdo con las necesidades de los usuarios
- Por medio de programación, el sistema puede anticipar cambios en el clima que permiten prevenir daños que difícilmente pueden lograrse con operaciones manuales.
- Se pueden configurar alarmas para alertar a los usuarios de fallas en algún equipo.

La automatización de un invernadero también presenta algunas desventajas como las que se enlistan a continuación:

- Alto costo inicial
- Demanda operadores más calificados.
- Requiere mayor mantenimiento, cuidados y precauciones. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

## **1.12 CLIMATIZACIÓN DE INVERNADEROS**

### **1.12.1 VENTILACIÓN**

La ventilación o aireación es el intercambio de aire entero el invernadero y el exterior. Este intercambio de aire se realiza a través de las aperturas del invernadero (ventanas y rendijas). La renovación del aire permite evacuar calor en exceso y reducir la temperatura del aire, modificar la humedad atmosférica, evacuando el aire interior enriquecido de vapor de agua por la transpiración de las plantas y modificar el contenido de oxígeno y CO<sub>2</sub>. (Castilla N. 2007).

#### **1.12.1.1 Ventilación natural o estática.**

La ventilación natural es el sistema más empleado y más barato, Matallana A. y Montero J. I. (1995), afirma su origen en dos factores: 1) Distribución de presiones en la superficie de la estructura debido al viento. 2) Diferencia de temperatura, y por lo tanto de presión, entre el invernadero y el exterior. Por otra parte permite la renovación del aire caliente interior por el aire fresco del exterior. Este intercambio se realiza mediante aberturas permanentes o temporales en el techo, en las paredes laterales o frontales (Figura 1.4).



**Figura 1.4** Ventanas laterales.

En la ventilación natural, la superficie de ventanas que debe darse al invernadero es función de las dimensiones del mismo, principalmente de su anchura y que las ventanas sean cenitales o laterales. La apertura y cierre puede hacerse de forma natural, más o menos mecanizada o por control automático. (Serrano Cermeño, 2005)

#### **1.12.1.2 Ventilación forzada o dinámica.**

La ventilación forzada emplea ventiladores o extractores para inyectar o extraer aire del invernadero, es el medio más efectivo de ventilar un invernadero además, permite un control más preciso de la temperatura que la ventilación natural, pero tiene el inconveniente de consumir electricidad.

Esta forma de ventilación consiste en crear un flujo de aire dentro de la estructura; los ventiladores situados en un extremo del invernadero, extraen el aire y las ventanas situadas en el lado opuesto lo dejan entrar. Con este sistema solo se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior. Los sistemas de ventilación forzada, que más se utilizan en la actualidad, son la renovación forzada de aire y la refrigeración por humectación (Cooling system).



**Figura 1.5** Ventilador para ventilación forzada.

Fuente: Huertas, L.,2007.

### **1.12.2 REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN DE AGUA**

Este sistema se basa en el principio, de que cuando el agua se evapora absorbe calor del aire que lo rodea. Se lo realiza con un equipo capaz de vaporizar el agua, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero y consecuentemente baja la temperatura. Los sistemas de humectación utilizados en la agricultura protegida son: la pantalla evaporadora y las boquillas de nebulización (Matallana Gonzalez & Montero Camacho, 1995).

### **1.12.3 SISTEMAS DE SOMBREO**

La reducción de la temperatura se consigue cortando más de lo conveniente el porcentaje de radiación fotoactiva, mientras que el infrarrojo corto llega en exceso a los cultivos. Sus inconvenientes más sobresalientes son: gran número de productos de sombreo no son selectivos y en algunos casos no causa descenso térmico (Matallana Gonzalez & Montero Camacho, 1995).

Los dispositivos de sombreo pueden ser exteriores o interiores al invernadero. (Castilla Prados, 2007), Los sistemas de sombreo se dividen en sistemas estáticos y dinámicos estos últimos permiten un control casi perfecto de la radiación solar en función de las necesidades climáticas del invernadero como es el caso de las cortinas móviles y riego de la cubierta, mientras que los sistemas estáticos sombrean al invernadero de una manera constante sin posibilidad de

graduación o control, aquí se encuentra el encalado y malla de sombreo. (Matallana Gonzalez & Montero Camacho, 1995)

### **1.13 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN**

Conforme con Castilla Prados( 2007), los aportes de calor para elevar la temperatura del invernadero pueden efectuarse, de acuerdo con los objetivos del agricultor, a la parte aérea del cultivo, a la radicular, o a las dos. En la calefacción de órganos aéreos el calor se transmite por convección o radiación, mientras que en la calefacción del suelo o sustrato la transmisión de calor se efectúa por conducción. Los sistemas de calefacción más empleados son: sistemas de vapor, de agua caliente, de aire caliente e infrarrojos (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007).

### **1.14 ESTRUCTURAS DE VENTILACIÓN**

Las ventanas son elementos constructivos de gran importancia, para regular la ventilación y mediante la ventilación refrigerar el invernadero. Un diseño adecuado de las ventanas, en cuanto a tamaño, forma y localización en el invernadero, incrementa el número de renovaciones de aire del invernadero pudiendo permitir unos niveles de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub> adecuados para los cultivos.

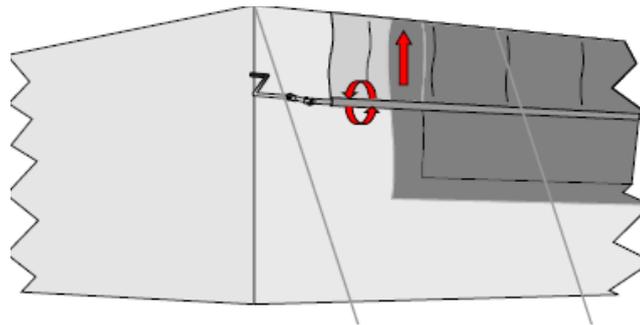
#### **1.14.1 TIPOS DE VENTANAS**

Los tipos de ventanas presentes en los invernaderos son muy diversos y han seguido un desarrollo paralelo al de la estructura del invernadero. Podemos encontrar ventanas tipo artesanal, muy sencillas de apertura manual y otras tipo industrial, más complejas, automatizadas y diseñadas mediante programas de simulación de ventilación.

Según Serrano Cermeño (2005) los tipos de ventanas para invernaderos pueden ser:

#### 1.14.1.1 Ventanas enrollables

Este sistema consiste en sujetar el borde superior del lienzo de plástico, que va a cubrir el hueco de ventilación, por la parte de arriba de la pared donde se sitúa la ventana; el borde inferior del paño de plástico se sujeta a una caña o tubo de plástico (Figura 1.6). Para abrir la ventana se enrolla el plástico a la caña o tubo; para cerrar se desenrolla el plástico. (Serrano Cermeño, 2005)

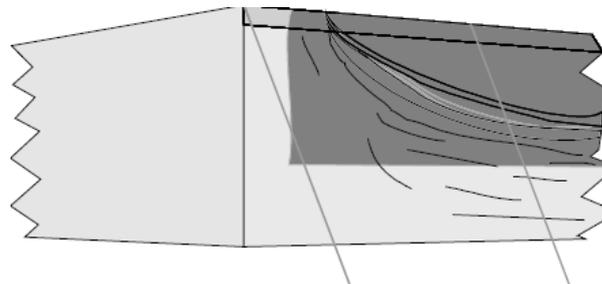


**Figura 1.6** Ventana enrollable

Fuente: López Hernández & Pérez Parra (s.f.)

#### 1.14.1.2 Ventanas plegables

La ventana plegable manual no presenta ningún tipo de mecanismo para su accionamiento (Figura 1.7). Las plegables separan las tiras de plástico, abriendo un hueco entre ellas que constituye la apertura de ventilación. (López Hernández & Pérez Parra, (s.f.))

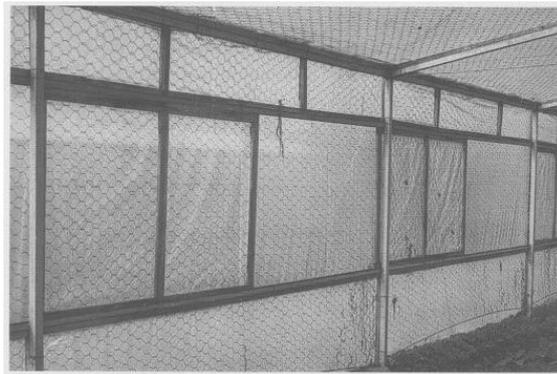


**Figura 1.7** Ventana plegable

Fuente:( López Hernández & Pérez Parra (s.f.))

### 1.14.1.3 Ventanas deslizantes

Estas ventanas, necesariamente tienen que llevar un marco o bastidor de hierro o madera, se deslizan en sentido lateral y resultan muy manejables (Figura 1.8). Hay varios sistemas de ventanas correderas; en unos casos va colgada de un alambre grueso o de una pletina de hierro mediante una argolla, deslizándose por un carril o guía de hierro en perfil U, que va colocado en la parte horizontal inferior de la ventana. (Serrano Cermeño, 2005)

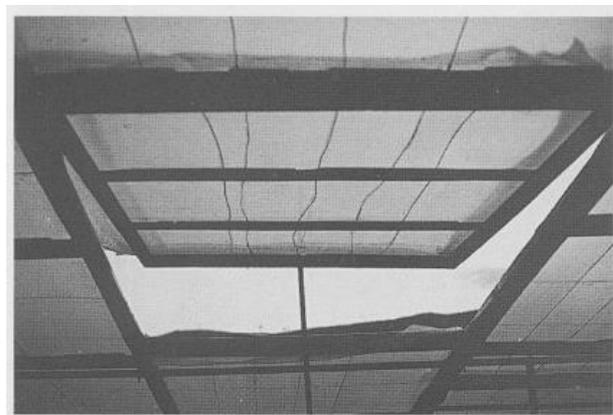


**Figura 1.8** Ventanas deslizantes en un invernadero de polietileno

Fuente: ( Serrano Cermeño, Z, 2005.)

### 1.14.1.4 Ventanas giratorias

Este tipo de ventanas pueden girar alrededor de un eje horizontal o vertical. También puede girar alrededor del borde superior del bastidor de la ventana (Figura 1.9). El mecanismo de giro es muy fácil. Un tubo redondo sujeto a la ventana se embute en una hembra fijada a la estructura; dentro de esta hembra el tubo puede girar libremente y, por tanto, también la ventana. Puede colocarse en las paredes laterales o techumbre. (Serrano Cermeño, 2005)



**Figura 1.9** Ventana giratoria

Fuente: (Serrano Cermeño, Z, 2005).

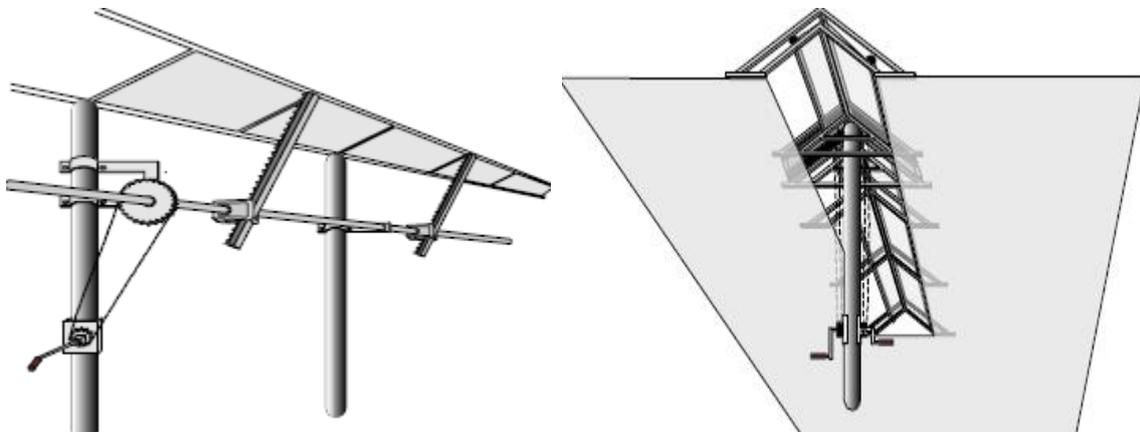
## 1.14.2 MECANIZACIÓN DE VENTANAS

El movimiento de las ventanas, apertura y cierre, puede hacerse manualmente o mediante formas mecanizadas más o menos perfeccionados.

### 1.14.2.1 Mecanismos de apertura y cierre de ventanas por medio de cremallera o engranaje

Este mecanismo consiste en una serie de piñones que engrana en la cremallera que está a las ventanas; de esta forma cuando giran los piñones hace subir o bajar la cremallera (Figura 1.10). Este sistema puede accionarse de una forma manual o de una forma mecánica, aplicando un motor eléctrico. (Serrano Cermeño, 2005). Este mecanismo puede ser empleado tanto en la ventilación cenital (Figura 1.11) como lateral.

Por otro parte, el accionamiento mecánico aplicando un motor eléctrico se realiza cuando se desea la renovación del aire por aprovechamiento de las condiciones climáticas internas y externas, todas las ventanas tienen que ser accionadas por un motor-reductor, que a su vez será accionado por un control del clima (Gimbert, 2007).



**Figura 1.10** Mecanismo de manejo manual de ventanas laterales y cenitales.

Fuente: (López Hernández & Pérez Parra (s.f) )



**Figura 1.11** Accionamiento mecánico aplicando Motor-reductor en ventilación cenital.

Fuente: (Huertas, L., 2007).

#### **1.14.2.2 Control automático de mecanismo de ventana**

Uno de los dispositivos automáticos para subir y cerrar las ventanas de los invernaderos, está formado por un termostato, resistencia y un regulador electrónico (Figura 1.12).

El funcionamiento de este aparato está regulado por los cambios de temperatura de la atmosfera del invernadero. De manera que al actuar en la resistencia del termostato da lugar a variaciones eléctricas en el regulador y este pone en funcionamiento el relé de regulación del motor eléctrico y así maniobra el mecanismo de las ventanas. (Serrano Cermeño, 2005)



**Figura 1.12** Ventilación automática con motor-reductor GW30 (De Gier)

Fuente:( Gimbert, D. T, 2007).

### 1.14.2.3 Mecanismos de apertura y cierre de ventanas por medios brazos telescópicos

Para la ventilación lateral motorizada existen varios modelos. Por medio de un motor fijo y uno o dos brazos telescópicos (Figura 1.13). Los brazos telescópicos van unidos por un lado al motor –reductor y por el otro a una barra de mando (en ambos caso las uniones son por medio de cardan o trócolas). El motor-reductor hace girar el brazo telescópico y a la barra de mando. El plástico de la ventana lateral, fijado de antemano a la barra de mando, se va enrollando en ella por el giro. A medida que la banda se abre o se cierra los brazos van extendiéndose o encogiéndose según la necesidad. (Gimbert, 2007).



**Figura 1.13** Sistema de apertura y cierre de ventilación lateral. Motor-reductor con barra telescópica acoplado a tubo enrollador (Válido para pantalla o plástico).

Fuente: (Albaladejo J. A (s .f))

Un problema que presenta el sistema de brazos telescópicos es queda sin ventilar una parte de la ventana y por tanto varias líneas de planta, debido al espacio que ocupa los brazos y el motor.

Por este motivo se suele usar otro sistema se trata de un motor-reductor de poco peso, que se fija a una placa guía de montaje con rodillos (Figura 1.14). Esta placa guía sube y baja por un tubo perpendicular de 1". El motor-reductor tiene dos ejes de salidas que se unen a una barra de mando horizontal donde se enrolla el plástico. Al hacer girar la barra de mando, el plástico se enrolla en la barra y este enrollamiento es el que hacer subir o bajas el motor-reductor por el tubo guía. (Gimbert, 2007).



**Figura 1.14** A la izquierda, banda lateral con CXP enrollable (De Gier) y, a la derecha motor-reductor con guía GXP (De Gier).

Fuente: (Gimbert, D. T. 2007).

## 1.15 CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA<sup>1</sup>

Rodriguez, Tabares, & Medina (2001) establece la humedad realtiva ideal del los tomates junto con los metodos para bajar o aumentar la humedad relativa. La humedad relativa ideal para los tomates es de 50-60%

Un exceso de la humedad se puede combatir:

- Con ventilación.
- Aumentando la temperatura
- Acolchonado
- Controlando los riegos.

El defecto de la humedad se puede combatir a su vez:

- Aumentando los riegos.
- Con pulverizaciones de agua tanto en los pasillos como sobre el cultivo.

### 1.15.1 TÉCNICAS DE OPERACIÓN

Al igual que la temperatura, la humedad generalmente es controlada con base en valores de referencia y por costumbre se ha establecido como parámetro el valor de 85% de Humedad Relativa. Cuando existe un exceso de humedad se reduce con ventilación y calefacción; sin embargo tiene un gran gasto de energía.

<sup>1</sup> ITESM. (2007). *Automatización de microclima en un invernadero ( Tesis de maestría )*.

No obstante, el valor más adecuado para cada zona climática es distinto. Por otro parte, si se considera que la planta solo aprovecha el 10% del agua que toma y el 90% se pierde en transpiración se reducirá el gasto de energía para controlar la humedad; puede disminuirse el índice de Área de la Hoja (LAI) o la aplicación de químicos antitranspirantes (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey, Campus Querétaro, 2007).

## **1.16 CONTROL DIFUSO**

Los controladores difusos desempeñan la misma función o cuanto más que los controladores convencionales, pero ellos manejan problemas de control complejos a través de las heurísticas y modelos matemáticos proveídos por la lógica difusa, en vez de la vía de modelos matemáticos proveída de ecuaciones diferenciales. Esta es particularmente útil para control de sistemas cuyos modelos matemáticos son no-lineales o para aquellos que simplemente no disponen con un modelo matemático estándar.

La implementación del control difuso son, en algunos casos, imitaciones de las reglas de control que usan los humanos. Crear máquinas para emular la experiencia humana en el control nos da una nueva manera de diseñar controladores para plantas complejas cuyos modelos matemáticos no son fáciles de especificar (Nguyen, Prasad, Walker, & Walker, 2003).

### **1.16.1 VENTAJAS DEL CONTROL DIFUSO**

- Los controladores difusos son más robustos que los controladores PID porque ellos pueden cubrir una gama más amplia de operar condiciones que puede el PID, y pueden operar con ruido y perturbaciones de diferente naturalezas.
- Desarrollar un controlador difuso es más económico que desarrollar uno basado en modelo u otro controlador para hacer la misma cosa.
- Los controladores difusos son ajustables, debido a que es más fácil de comprender y modificar sus reglas, ya que no solo usa estrategias de un operador humano, pero también son expresados en términos lingüísticos natural.

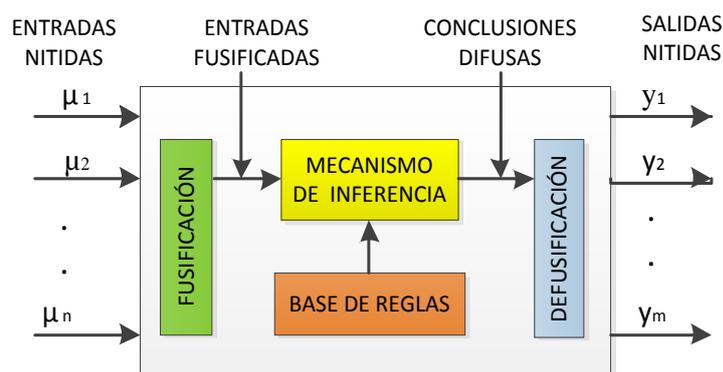
- Más fácil para aprender cómo operan los controladores difusos y como diseñar y aplicar estos a una aplicación concreta. ( Reznik, 1997)

### 1.16.2 ESTRUCTURA DE UN CONTROL DIFUSO

La clase de estructura del control difuso depende principalmente de proceso de control y la calidad de control requerida. Según el area de aplicación para el control difuso es realmente grande, hay muchas posibles estructuras del controlador, algunas difieren mucho con otras por el numero de entradas y salidas, o poco significativas por el numero de entradas y salidas de los conjuntos difusos y sus formas de funcion de membresia, o por la forma de reglas de control, el tipo de inferencia borrosa, y el metodo de difusificacion ( Kovacic & Bogdan, 2006).

A pesar de la variedad de las estructuras del control difuso. La forma basica de todos los tipos de controladores comumente consisten de las siguietes partes (Figura 1.15).

- Entradas fuzzificacion(conversion binaria-a-difuso [B/F])
- Base de reglas difusas
- Inferencia borrosa
- Salidas Defusificacion (conversion de difuso-a-binario[F/B])



**Figura 1.15** Estructura básica de un control difuso

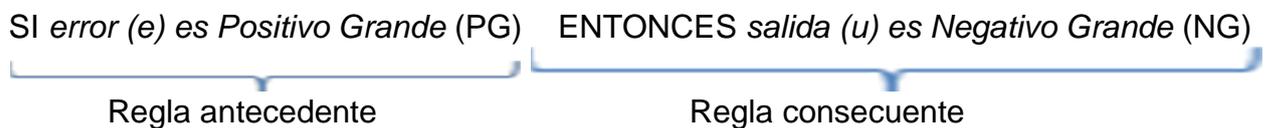
Fuente: Passino, K. M., & Yurkovich, S. 1998.

### 1.16.2.1 Fusificación

El módulo fuzzificación convierte los valores de las entradas del control a valores difusos, de este modo ellas son compatibles con la representación de conjuntos difusos en la base de reglas. La elección de la estrategia depende en la inferencia borrosa.

### 1.16.2.2 Base de reglas

La base de reglas es esencialmente la estrategia de control del sistema. Esta es usualmente obtenida del conocimiento experto o heurístico y expresado como un conjunto de reglas SI-ENTONCES. Las reglas son basadas en el concepto de inferencia difusa y las consecuencias son asociadas con variables lingüísticas.



### 1.16.2.3 Inferencia borrosa

El mecanismo de inferencia tiene dos tareas: (1) determinar la extensión a cada regla es relevante a la situación actual como caracteriza por las entradas  $u_i, i = 1, 2, \dots, n$ , y (2) dibuja conclusiones usando las actuales de entradas  $u_i$  y la información en la base de reglas. Estas tareas se llaman combinado y paso (Passino & Yurkovich, 1998)

### 1.16.2.4 Defusificación

Existe un número de estrategias de fuzzificación, y esto no es difícil para inventar más. Cada una provee unos medios para elegir una sola salida basada en ambas los implicados conjuntos difusos o la total implicado conjuntos difusos. (Passino & Yurkovich, 1998)

## 1.16.3 MODELOS DE CONTROL DIFUSO

Históricamente se ha desarrollado tres variantes distintos de controladores: El controlador Mamdani, FLS, y el Sugeno. Ellos usan el mismo plan de inferencia, pero ellos difieren con respecto a método de activación y conclusión de función de membresía (Jantzen, 2007).

### 1.16.3.1 El Controlador Mamdani

Mamdani propuso controlar la planta realizando algunas reglas difusas o proposiciones condicionales difusas. Entre sus características destacan provee un control de mayor calidad, este aumenta el número de entradas de control y usa el cambio de presión de error. ( Reznik, 1997)

Las reglas Mamdani en general se escriben matemáticamente de la siguiente forma

#### Ecuación 1.1 Regla Mamdani

$$R^i: \quad SI \ A_{i1}(x_1), A_{i2}(x_2), \dots, A_{im}(x_m) \ ENTONCES \ Y \ es \ B_i$$

Donde  $x_1, x_2, \dots, x_m$  son las variables de entrada, por ejemplo presión temperatura, error, etc.,  $A_{ij}(x_j) (j = 1, 2, \dots, m)$  es un conjunto difuso en  $X_j$ ,  $Y$  es una variable de salida,  $B_i$  es un conjunto difuso en  $Y$ .

### 1.16.3.2 El Controlador Takagi-Sugeno-Kang

Este método propuesto por Sugeno, cambia una parte de las reglas, En este método, la parte consecuente es solo una función matemática de las variables de salida. ( Reznik, 1997)

El formato de la regla es:

#### Ecuación 1.2 Regla Takagi-Sugeno-Kang

$$SI \ A_1(x_1), A_2(x_2), \dots, A_n(x_n) \ entonces \ Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

La parte antecedente es similar al método Mamdani. La función  $f$  en un consecuente es usualmente una simple función matemática, lineal o cuadrática:

$$f = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

La parte antecedente en este caso es procesada de la misma forma que el método Mamdani, y luego obteniendo un grado de aplicable es asignado a el valor de  $Y$  calculado como la función de salida real, la Tabla 1.1 indica las principales semejanzas, diferencias y ventajas entre el modelo de control Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang.

**Tabla 1.1** Comparación entre el modelo de control Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang.

MODELO MAMDANI	MODELO SUGENO
<b>Semejanzas</b>	
Las partes antecedentes de las reglas son las mismas	
<b>Diferencias</b>	
Las partes consecuentes de las reglas son conjuntos difuso	Las partes consecuentes son singletons (simple puntas) o funciones matemáticas de ellos.
<b>Ventajas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil comprender por un humano experto.</li> <li>• Más simple para formular reglas.</li> <li>• Propuesto más antes y comúnmente usado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más eficiente computacionalmente.</li> <li>• Más conveniente en análisis matemático y en sistemas de análisis.</li> <li>• Garantiza continuidad en la superficie de salida.</li> </ul>

Fuente: Reznik, 1997



## **CAPÍTULO II**

### **2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

El presente capítulo se describe todos los elementos que forman parte del mecanismo para la apertura y cierre de las cortinas. Así como los dispositivos electrónicos del sistema de control de la humedad relativa, adicionalmente se detallan los aspectos considerados para la selección de estos implementos.

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El Convento Hermanas Misiones Siervas del Divino Espíritu, posee un invernadero (Figura 2.1) que cubre una superficie de 1400 m<sup>2</sup>, con un volumen interior aproximado de 5,563.938 m<sup>3</sup>. La estructura es de madera y está cubierto de plástico, su forma es de tipo multi-capilla (estructura en A), contiene seis bahías interconectadas. Tiene cuatro ventanas laterales, dos en pared frontal y dos en pared posterior, todas son de tipo enrollable, son operadas manualmente y cubren una superficie total de 171.35 m<sup>2</sup>. Los dibujos isométricos del invernadero se incluyen en el Anexo A.

En el invernadero se cultiva tomate riñón con fines comerciales; el cultivo se realiza sin ningún tipo de control o monitoreo de las variables climáticas debido a que no disponen de instrumentos de medición y equipos de control climático, posee un sistema de riego por goteo operado de forma manual así como las labores de fumigación, tutorado etc.



**Figura 2.1** Invernadero Convento Hermanas Misioneras Siervas del Divino Espiritu

### **2.1.1 SELECCIÓN DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS**

Las dimensiones de las ventanas frontales son 1,8x27,70m y 1,8x21,10m respectivamente y 1,8x25m las de la parte posterior ( Figura 2.1), las cuales son operadas manualmente mediante una manivela como se aprecia en la Figura 2.2. Este sistema se caracteriza por la escasa velocidad y eficiencia, la apertura manual y su dependencia de un control humano no permite aprovechar los cambios constantes del clima.



**Figura 2.2** Sistema de apertura manual

Por lo tanto se vio la necesidad de mecanizar el sistema de apertura de las ventanas para reducir el riesgo de exponer al cultivo a condiciones dañinas de excesivo o escaso flujo de aire. Y de esta forma controlar la humedad relativa. Para lo cual es necesario un mecanismo motorizado con sistema de apertura

enrollable por medio de motor-reductores y un control de la humedad relativa. Como consecuencia se seleccionó el sistema telescópico para el invernadero.

Los motivos los que se eligió el sistema telescópico son los siguientes:

- Es robusto
- Es económico
- Sus partes son fáciles de adquirir ya que este mecanismo es ampliamente empleado para la apertura y cierre de las ventanas en un invernadero.
- Se adapta a la mecanización y estructura actual del invernadero en comparación a los otros mecanismos (Tabla 2.1)
- Fácil de montaje e implementación
- Poco mantenimiento ya que las juntas pueden soportan bien la contaminación ambiental y una deficiente lubricación.

Este mecanismo ofrece las siguientes ventajas:

- Ahorro de mano de obra.
- Respuesta más rápida a las variaciones de los parámetros climáticos externos e internos.
- Mejor desarrollo del cultivo al tener un clima más adecuado.
- 

**Tabla 2.1** Mecanismos de apertura y cierre de ventanas en invernaderos

<b>Mecanismo</b>	<b>Accionamiento</b>	<b>Tipo de ventana</b>	<b>Características</b>
Juegos de poleas	Manual con manivela o motor	Enrollable Plegable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usado en ventilación lateral o cenital</li> <li>• La lamina se enrolla en un listón de madera o tubo de hierro</li> <li>• Emplea cable de acero o cuerdas</li> </ul>

Fuente: Serrano Cermeño, Z., 2005.

**Tabla 2.1** Mecanismos de apertura y cierre de ventanas en invernadero (continuación).

Mecanismo	Accionamiento	Tipo de ventana	Características
Por medio de cremallera o engranaje	manual o mecánica con motor	abatible, giratoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usado en ventilación lateral o cenital.</li> <li>• Consiste en una serie de piñones que engranan en la cremallera que esta adosada a las ventanas; de esta forma cuando giran los piñones hacen subir o bajar la cremallera.</li> </ul>
Brazos telescópicos. (Gimbert, 2007)	mecánico con motor	enrollable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empleada para ventilación lateral</li> <li>• Tiene un motor fijo y uno o dos brazos telescópicos. Estos se unen al motor –reductor y a una barra de mando por cardan, el motor hace gira el brazo y la barra de mando para el cierre o apertura</li> </ul>
Sistema deslizante	mecánico con motor o manual manivela	deslizante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación lateral o cenital</li> <li>• Tiene un marco o bastidor de hierro o de madera</li> <li>• Se deslizan en carril o guías de hierro en perfil U</li> <li>• Apertura y cierre uniendo todas las ventanas en línea recta con un cable</li> </ul>
Sistema enrollable mediante Motor con guía	mecánico con motor	enrollable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usada en ventilación lateral</li> <li>• Posee motor con guía de montaje con rodillos</li> <li>• No deja líneas de planta sin ventilar</li> </ul>

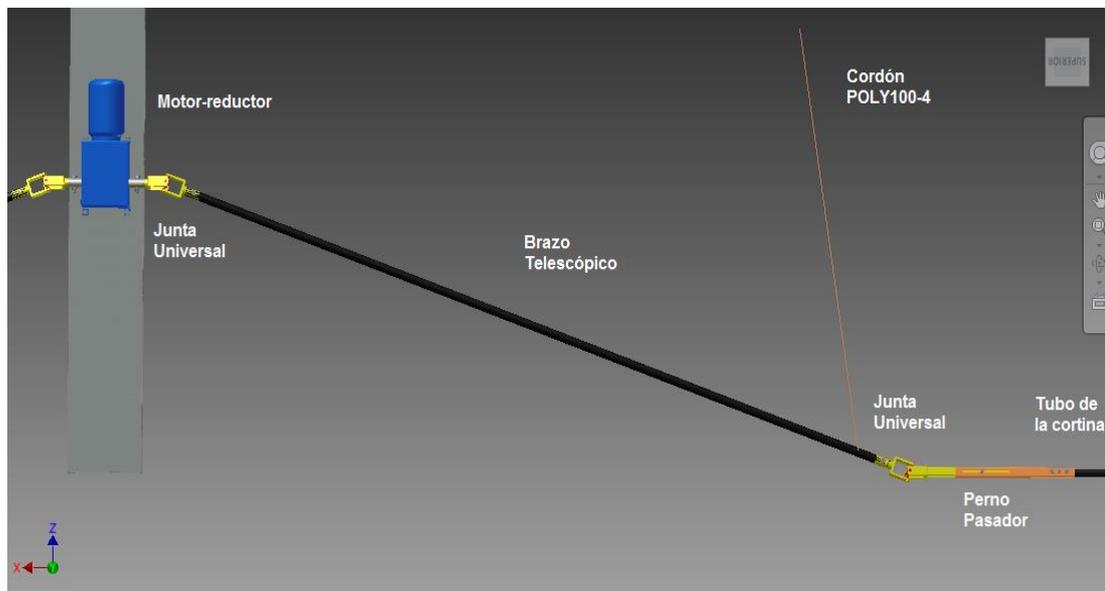
Fuente: Serrano Cermeño, Z., 2005.



**Figura 2.3** Banda lateral con motor-reductores y brazos telescópicos (De Gier).

Fuente: Gimbert, D. T. 2007.

De manera general la estructura del mecanismo seleccionado consta de motor fijo y uno o dos brazos telescópicos. Los brazos telescópicos van unidos por un lado al motor reductor y por otro a una barra de mando, en ambos caso por uniones cardan (Figura 2.4). El motor-reductor hace girar el brazo telescópico y a la barra de mando. El plástico de la ventana lateral, fijado de antemano a la barra de mando, se va enrollando en ella por el giro. A medida que la banda se abre o se cierra los brazos van extendiéndose o encogiéndose según la necesidad (ver Figura 2.3).



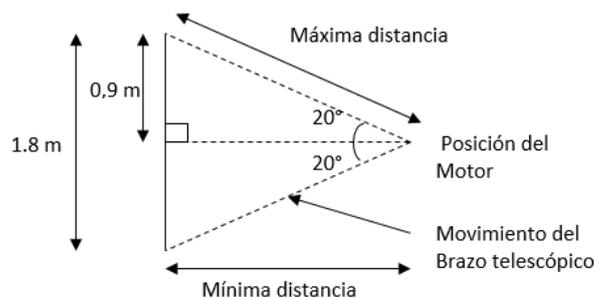
**Figura 2.4** Partes del Sistema telescópico seleccionado

## 2.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PARTES DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE VENTANAS

Los motores fueron ubicados a media altura de las ventanas para lograr un movimiento simétrico y por la longitud de la ventana, con los motores en esta posición se calculó la longitud necesaria del brazo telescópico para lograr la apertura y cierre completa de la ventana.

En esta configuración es necesario tomar en cuenta que la dimensión de la barra de mando debería variar de acuerdo con la altura a la que se encuentre la cortina. Es decir, la dimensión mínima será requerida 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.

Para calcular la dimensión de la barra de mando, primero se seleccionó el ángulo de operación de las juntas universales, mismo que fue de  $20^\circ$  debido a que los fabricantes recomiendan ángulos mayores de  $0^\circ$  y menores de  $25^\circ$  para asegurar que la vida útil de la pieza sea lo mayor posible.



**Figura 2.5** Cálculo de la dimensión de la barra.

Empleando funciones trigonométricas.

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

$$\cos 20^\circ = \frac{D_{\text{mín}}}{D_{\text{máx}}}; \quad D_{\text{mín}} = 2.47 \text{ m}$$

$$\text{Extencion de la barra} = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}$$

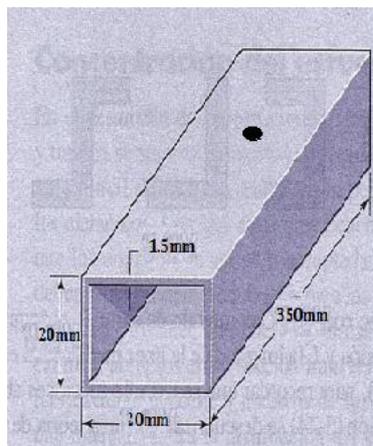
$$\text{Extencion de la barra} = 2.63 \text{ m} - 2.47 \text{ m} = 0.16 \text{ m} \text{ ó } 16 \text{ cm}$$

De acuerdo con los cálculos obtenidos de la extensión de la barra de mando, es muy corta como para implementar un sistema telescópico comercial en lugar de la barra de mando. Se propuso la implementación de un acoplamiento móvil formado por un tubo cuadrado de menor dimensión que ingresa en otro de mayor dimensión (Figura 2.7), el primer tubo cuadrado de menor dimensión se unió al exterior del tubo que enrolla la cortina, y el tubo cuadrado de mayor dimensión se unió a la barra de mando mediante la junta universal. Esto permite utilizar una barra de mando de dimensión fija.

### Calculo de esfuerzos

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 el torque proporcionado por el motor (50N m).

- Tubo cuadrado de junta universal



**Figura 2.6** Tubo cuadrado de junta universal

**Ecuación 2.1** Esfuerzo cortante para tubos de pared delgada cerrados

$$\tau = \frac{T}{2A_m t}$$

$$\tau = \frac{(50)}{2(0,02 - 0,0015)(0,02 - 0,0015)(0,0015)} = 675,67 \text{ MPa}$$

- Tubo de mando

Do=25,4 mm, 0.0254 m Diámetro externo; Ro=12,7mm, 0.0127m

Di=23,9 mm, 0.0239m Diámetro interno; Ri=11,95mm, 0.01195m

**Ecuación 2.2** Esfuerzo cortante. Para una barra solida circular en torsión

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot r}{J}$$

donde T=Par de torsión

r= Radio de la superficie exterior

J=Segundo momento polar del área

**Ecuación 2.3** Segundo momento polar del área. Para una sección transversal redonda hueca.

$$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)$$

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

**Ecuación 2.4** Esfuerzo normal flexionante

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I}$$

donde C=Magnitud máxima de y

I=Segundo momento del área alrededor del eje z.

**Ecuación 2.5** Segundo momento del área alrededor del eje z. Para sección circulo hueco

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$$

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

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”).

### Ecuación 2.6 Deflexión máxima de la barra

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{5wL^3}{384EI}$$

Donde W=Peso de la barra

L=longitud

I=Momento de inercia de la sección transversal

E=Modulo de elasticidad del material

$$w = mg; \quad m_t = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A$$

Donde w=peso

M=masa

$\rho$  = densidad especifica

V=Volumen

l=longitud

A=Área

Densidad especifica del acero 7850 Kg/m<sup>3</sup> (Gere & Goodno, 2009)

Módulo de elasticidad a la tensión del Acero  $200 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$  (Fitzgerald, 2007)

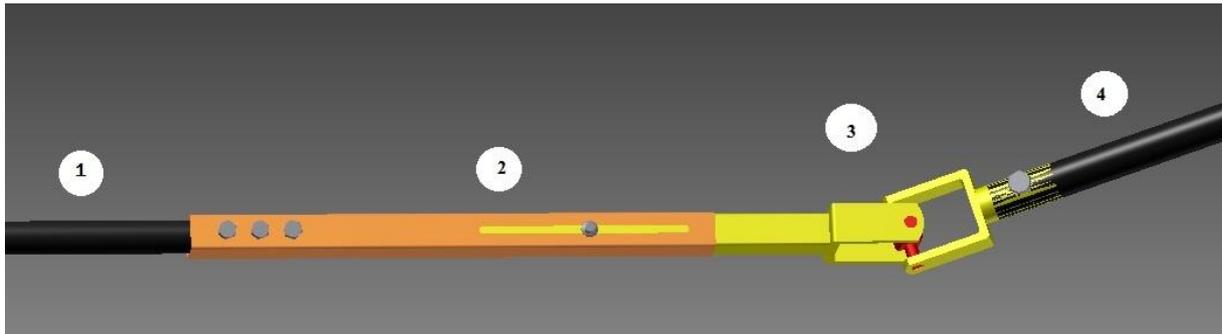
$$m_t = 7850 \frac{Kg}{m^3} (2,50m) ((0.0127m)^2 - (0.01195m)^2) = 0,362Kg$$

$$w = mg = 0.362Kg \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) = 3,547N$$

$$I = \frac{1}{2} m (R_i^2 + R_e^2) = \frac{1}{2} (0,362Kg) ((0.0127m)^2 + (0.01195m)^2) \\ = 5,50 \times 10^{-5} Kg - m^2$$

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

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).



**Figura 2.7** 1.-Tubo de la cortina; 2.- Acoplamiento móvil; 3.-Junta universal 4.- Barra de mando

**Tabla 2.2** Especificaciones generales de las partes del mecanismo de la ventana

Parte	Material	Descripción
Barra de mando	Hierro galvanizado	Tubo 25.4 x 1.8mm espesor, 2.5m largo
Uniones	Hierro galvanizado	25.4 mm de Diámetro
Acoplamiento móvil	Hierro	Tubo cuadrado de 25.4x 1.5 mm espesor, 50cm de Largo Tubo cuadrado de 3/4x 1.5 mm espesor, 50cm de Largo
Tubo de cortina	Hierro	19.05x 1.50 mm de espesor

## 2.2 CÁLCULOS DE LA VENTILACIÓN NATURAL

Estos cálculos se realizaron con el fin de determinar la cantidad de ventilación que permiten realizar las cortinas en el invernadero. De esta forma poder regular la humedad interna del invernadero.

### Ecuación 2.7 Área de apertura de ventilación

$$A = Lxb$$

Donde A=Área, expresada en m<sup>2</sup>

L= Largo de una abertura de ventilación, expresada en m

b= anchura de ventilación, expresada en m

Ventana 1

$$A_1 = Lxb = (21.10 \text{ m})(1.80 \text{ m}) = 37.98 \text{ m}^2$$

Ventana 2

$$A_2 = Lxb = (27.60 \text{ m})(1.80 \text{ m}) = 49.68 \text{ m}^2$$

Ventana 3

$$A_3 = Lxb = (25 \text{ m})(1.80 \text{ m}) = 45 \text{ m}^2$$

Ventana 4

$$A_4 = Lxb = (25 \text{ m})(1.80 \text{ m}) = 45 \text{ m}^2$$

Medida de la superficie total del invernadero

$$\text{Área} = lxb = (50 \text{ m})(28 \text{ m}) = 1400 \text{ m}^2$$

### Ecuación 2.8 Porcentaje de ventilación

$$\frac{\text{Área de la ventana}}{\text{Superficie cubierta del invernadero}} \times 100$$

$$\frac{A_1}{S} \times 100 = \frac{37.98 \text{ m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 2.712 \%$$

$$\frac{A_2}{S} \times 100 = \frac{49.68 \text{ m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 3.548\%$$

$$\frac{A_3}{S} \times 100 = \frac{45 \text{ m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 3.214 \%$$

$$\frac{A_4}{S} \times 100 = \frac{45 \text{ m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 3.214 \%$$

**Ecuación 2.9** Porcentaje de ventilación del perímetro

$$\frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{S} \times 100$$

$$\frac{37.98\text{m}^2 + 49.68\text{m}^2 + 45\text{m}^2 + 45\text{m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 12.69 \%$$

Área de la abertura del techo

$$l \times h = (28 \text{ m})(0.15 \text{ m}) = 4.2\text{m}^2$$

El techo posee 6 aberturas de dimensiones iguales

$$4.2\text{m}^2(6) = 25.2 \text{ m}^2$$

**Ecuación 2.10** Porcentaje de ventilación del techo

$$\frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{S} \times 100$$

$$\frac{4.2\text{m}^2}{1400 \text{ m}^2} \times 100 = 4.2 \%$$

## 2.3 MOTOR-REDUCTOR

Los reductores o motor-reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente. (Dario, 2008)

Las ventajas de los motor-reductores frente a otras formas de reducción son: (Ternium)

- Probabilidad de una larga vida útil
- Mantenimiento mínimo.
- Ocupan poco espacio.
- Fácil montaje

- Relación de transmisión constante e independiente de la carga
- Operación segura y habilidad para funcionar en condiciones adversas

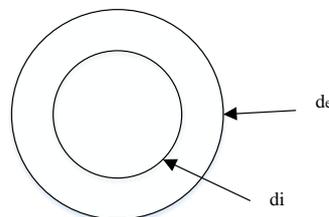
Los motor-reductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a redes trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz. (Ferromaq)

### 2.3.1 SELECCIÓN DE LOS MOTOR-REDUCTORES

En dos de las ventanas de la parte frontal, se decidió empelar un motor-reductor en cada una, estos fueron fijados mediante un soporte a 90cm de la altura de las ventanas y un brazo telescópico en cada ventana.

Para la selección de los motor-reductores se realizaron cálculos del peso de la cortinas con lo que se obtuvo el torque que un motor requeriría en este mecanismo este análisis se realizó para cada una de las ventanas, cabe señalar que todas las cortinas tienen un tubo de características similares

#### Cálculo del torque requerido (cortina 1)



**Figura 2.8** Diámetro del tubo de las cortinas

$$d_e = 21,35 \text{ mm} ; \quad R_e = 10,675 \text{ mm} \quad \text{ó} \quad 0,010675 \text{ m}$$

$$d_i = 17,35 \text{ mm} ; \quad R_i = 8,685 \text{ mm} \quad \text{ó} \quad 0,008685 \text{ m}$$

#### Ecuación 2.11 Masa del tubo de la cortina ( $m_t$ )

$$m_t = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A$$

donde  $m_t$  =Masa del tubo (Kg).

$\rho$ = Densidad de masa del material (Kg/m<sup>3</sup>)

V=Volumen (m<sup>3</sup>)

ℓ=Longitud (m)

A=Área (m<sup>2</sup>)

Densidad del Acero (ρ)= 7850  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

**Ecuación 2.12** Área del círculo hueco

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4}[(0,02135\text{m})^2 - (0,01735\text{m})^2] = 1,215796357 \times 10^{-04} \text{m}^2$$

Masa del tubo de la cortina.

$$m_t = \left( 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (27,70 \text{ m}) (1,215796357 \times 10^{-04} \text{m}^2) = 26,43 \text{ Kg}$$

**Ecuación 2.13** Masa del plástico (m<sub>p</sub>)

$$m_p = \rho \cdot V = \rho \cdot e \cdot A$$

$$m_p = 950 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (0,0002 \text{ m}) (1,8 \text{ m}) (27,70 \text{ m}) = 9,47 \text{ Kg}$$

**Ecuación 2.14** Masa total (m)

$$m = m_t + m_p$$

$$m = 26,43 \text{ Kg} + 9,47 \text{ Kg} = 35,9 \text{ Kg}$$

**Ecuación 2.15** Torque

$$T = I \cdot \alpha$$

donde T=Torque (N-m).

I=Momento de inercia(N-m<sup>2</sup>)

α=Aceleración angular instantánea (rad/s<sup>2</sup>)

**Ecuación 2.16** Momento de inercia sección cilindro hueco

$$I = \frac{1}{2} m (R_i^2 + R_e^2)$$

donde m=masa

Ri=Radio interno  
Re=Radio externo

Momento de inercia del tubo de la cortina 1

$$I = \frac{1}{2} (26,43 \text{ Kg}) [(0,008685 \text{ m})^2 + (0,010675 \text{ m})^2] = 0,0025027215 \text{ Kg} - \text{m}^2$$

Datos de tubo de mando

Densidad del Acero ( $\rho$ )=  $7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Diámetro externo (D)=25.4mm ó 0.0254m

Diámetro interno (d)=23.6mm ó 0,0236m

Longitud=2.50 m

$$A = \frac{\pi}{4} [(0,0254\text{m})^2 - (0,0236\text{m})^2] = 6,9272125 \times 10^{-05} \text{m}^2$$

$$m_t = \left( 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (2,50\text{m}) (6,9272125 \times 10^{-05} \text{m}^2) = 1,359465 \text{ Kg}$$

Momento de inercia del tubo de mando 1

$$I = \frac{1}{2} (1,359465 \text{ Kg}) [(0,0118\text{m})^2 + (0,0127\text{m})^2] = 2,0428000 \times 10^{-04} \text{Kg} - \text{m}^2$$

**Ecuación 2.17** Velocidad instantánea

$$v = v_0 + \alpha \cdot t$$

donde t=Tiempo de apertura o cierre de la cortina 40s

$\alpha$  = Aceleración angular instantánea

$\alpha_t$ =Aceleración tangencial

$v_0 = 0$

$$g = a_t = \alpha \cdot r$$

$$v = v_0 + g \cdot t$$

$$v = \left( 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (40\text{s}) = 392 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = w \cdot r$$

**Ecuación 2.18** Velocidad angular instantánea

$$w = \frac{v}{r} = \frac{392 \frac{m}{s}}{0,010675m} = 36721,31 \frac{rad}{s}$$

**Ecuación 2.19** Aceleración angular instantánea

$$\alpha = \frac{dw}{dt} = \frac{36721,31 \frac{rad}{s}}{40s} = 918,03275 \frac{rad}{s^2}$$

**Ecuación 2.20** Torque total.

$$T = (I_1 + I_2)\alpha$$

$$T = (0,0025027215 \text{ Kg} - m^2 + 2,0428000 \times 10^{-04} \text{ Kg} - m^2) 918,03275 \frac{rad}{s^2} \\ = 2,485Nm$$

**Cálculo del torque requerido (Cortina 2)**

Masa del tubo

$$m_t = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A$$

$$m_t = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (21,10 \text{ m}) \times \pi((0,010675 \text{ m})^2 - (0,008685 \text{ m})^2) = 20,04 \text{ Kg}$$

Masa del plástico

$$m_p = \rho \cdot V = \rho \cdot e \cdot A$$

$$m_p = 950 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (0,0002 \text{ m}) (1,8 \text{ m}) (21,10 \text{ m}) = 7,21\text{Kg}$$

Masa total.

$$m = m_t + m_p$$

$$m = 20,04 \text{ Kg} + 7,21\text{Kg} = 27,25 \text{ Kg}$$

Momento de inercia del tubo de la cortina 2

$$I_1 = \frac{1}{2} (20,04 \text{ Kg}) [(0,008685 \text{ m})^2 + (0,010675 \text{ m})^2] = 1,897636197 \times 10^{-03} \text{ Kg} - m^2$$

Momento de inercia del tubo de mando 2, es igual al de la cortina 1

$$I_2 = 2,0428000 \times 10^{-04} \text{ Kg} - m^2$$

Remplazando  $I_1$ ,  $I_2$  y  $\alpha = 918,03275 \frac{rad}{s^2}$  en la Ecuación 2.11

$$T = (1,897636197 \times 10^{-03} Kg - m^2 + 2,0428000 \times 10^{-04} Kg - m^2) 918,03275 \frac{rad}{s^2} \\ = 1,929 Nm$$

### Calculo del torque requerido (Cortina 3)

Masa del tubo

$$m_t = \rho \cdot V = \rho \cdot \ell \cdot A$$

$$m_t = 7850 \frac{Kg}{m^3} (25 m) \times \pi((0,010675 m)^2 - (0,008685 m)^2) = 23,75 Kg$$

Masa del plástico

$$m_p = \rho \cdot V = \rho \cdot e \cdot A$$

$$m_p = 950 \frac{Kg}{m^3} (0,0002 m)(1,8 m)(25 m) = 8,55 Kg$$

Masa total.

$$m = m_t + m_p = 23,75 Kg + 8,55 Kg = 32,3 Kg$$

Momento de inercia del tubo de la cortina 3

$$I_1 = \frac{1}{2} (23,75 Kg)[(0,008685 m)^2 + (0,010675 m)^2] = 2,248945094 \times 10^{-03} Kg - m^2$$

Momento de inercia del tubo de mando 3

$$I_2 = 2,0428000 \times 10^{-04} Kg - m^2$$

Sustituyendo  $I_1$ ,  $I_2$  y  $\alpha = 918,03275 \frac{rad}{s^2}$  en la Ecuación 2.11

$$T = (2,248945094 \times 10^{-03} Kg - m^2 + 2,0428000 \times 10^{-04} Kg - m^2) (918,03275 \frac{rad}{s^2}) \\ = 2,2521409 Nm$$

Multiplicamos por 2 debido a la presencia de dos cortinas simétricas.

$$T = (2,2521409 Nm)(2) = 4,504 Nm$$

En relación con los torques obtenidos, se consideró que el torque el motor-reductor debe ser igual o mayor para que garantice enrollar el peso de la cortina. Por lo tanto se eligió un motor-reductor cuyo motor es Siemens 1LA7 070-4YC60 y su reductor Tametal (Figura 2.9) con un torque de 99.48 Nm, los datos técnicos nominales se observan en la Tabla 2.3 y Anexo B.



**Figura 2.9** Motor-reductores de las cortinas frontales izquierda y derecha

**Tabla 2.3** Datos técnicos nominales del Motor-reductor de la ventana frontal izquierda y derecha

MOTOR			REDUCTOR	
Característica		Valor	Característica	Valor
Tipo		1LA7 070-4YC60	HP	0.40
Frame IEC		71M	Tipo	MRH TF 50
Potencia	HP kW	0,4 0,30	O.P.	10809029
Factor de servicio	F.S.	1,05	Relación	62,00
Corriente nominal	220V 440V	1,60 0,80	RPM <sub>e</sub>	1750
Eficiencia $\eta$	(%)	66	RPM <sub>s</sub>	28,23
Factor de potencia	Cos $\phi$	0,77	Lubricación	SAE 140
Velocidad nominal	(rpm)	1640		
Torque nominal	[Nm]	1,74		
Torque de arranque	( $T_a/T_n$ )	1,8		
Corriente de arranque	( $I_a/I_n$ )	2,8		

Peso neto IB3	(Kg)	4,7		
Momento de inercia	(Kg m2)	0,0006		
Rodamientos	AS/BS	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3		
Protección		IP55		

Fuente: (Catalogo Motores trifásicos Siemens )

## Selección reductor de velocidad

**Tabla 2.4** Factores de servicio (F.S.)

Duración del servicio Tiempo total de operación por día	Clasificación de carga Máquina movida								
	Con Motor Eléctrico			Con Motor Combustión (un cilindro)			Con Motor de combustión (multicilindro)		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Ocasionales ½ hr.	0.80	0.90	1.00	1.00	1.25	1.50	.90	1.00	1.25
Intermitente 2 hrs.	0.90	1.00	1.25	1.25	1.50	1.75	1.00	1.25	1.50
Hasta 10 hrs.	1.00	1.25	1.50	1.50	1.75	2.00	1.25	1.50	1.75
Hasta 24 hrs.	1.25	1.50	1.75	1.75	2.00	2.25	1.50	1.75	2.00

Fuente: (RAISA)

## Ecuación 2.21. Potencia de selección

$$P_n = P_r \cdot F_s$$

Donde  $P_n$  = Potencia de selección  
 $P_r$  = Potencia requerida (Motor)  
 $F_s$  = Factor de servició  
 $P_r = 0.4\text{HP}$  del motor,

Para seleccionar el factor de servició, se consideró que el reductor trabajara 10h, movido por un motor eléctrico, también con carga uniforme.  $F_s = 1$  (Tabla 2.4)

$$P_n = (0,4\text{HP})(1) = 0.4\text{HP}$$

## Ecuación 2.22 Torque del reductor

$$T_n = \frac{716.2 P_n}{N} = \frac{716.2 (0,4\text{HP})}{28,23\text{RPM}} = 10,148(\text{Kg} - m) \text{ ó } 99.51788 (N - m)$$

Donde  $T_n$  = Torque de selección (Kg-m)  
 $N$  = Velocidad (RPM)

Por otra parte se consideró también el rendimiento de este

## Ecuación 2.23 Rendimiento del reductor

$$\eta = \frac{P_{n2}}{P_{n1}}; \quad R = \frac{0,40HP}{0.4HP} = 1$$

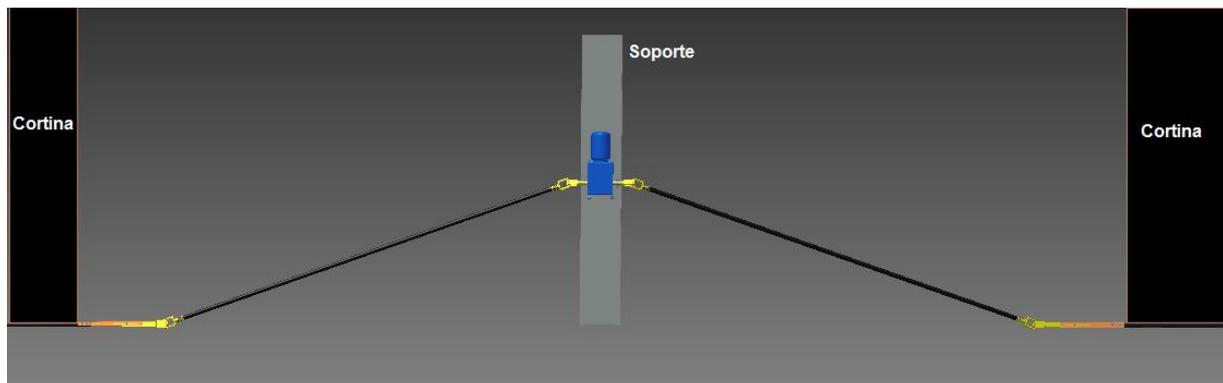
También se consideró el ángulo del a hélice del motor  $\beta > 20^\circ$  definiendo una baja reversibilidad del reductor (Tabla 2.5)

**Tabla 2.5** Irreversibilidad en base al ángulo de la hélice

	Irreversibilidad	
	dinámica	estática
$\beta > 20^\circ$	Reversibilidad total	
$10^\circ < \beta < 20^\circ$	Alta reversibilidad dinámica	Reversibilidad casi total - Retorno rápido
$8^\circ < \beta < 10^\circ$	Alta reversibilidad dinámica Baja irreversibilidad	Retorno rápido
$5^\circ < \beta < 8^\circ$	Baja reversibilidad dinámica, pero fácilmente reversible en caso de vibraciones	Buena reversibilidad y bajo autobloqueo
$3^\circ < \beta < 5^\circ$	Baja reversibilidad dinámica y buena irreversibilidad	Muy baja reversibilidad y buena irreversibilidad
$1^\circ < \beta < 3^\circ$	Irreversibilidad total	

Fuente: (REM)

En la pared de parte posterior se unió las dos ventanas con un solo motor-reductor con dos brazos telescópicos (Figura 2.10) con el fin de ahorrar materiales y utilizar la estructura actual del invernadero



**Figura 2.10** Mecanismo de ventanas pared parte posterior

La selección del motor-reductor de igual forma se realizó en función del torque que se necesita para enrollar las dos cortinas mismas que fue calculado.

De esta forma se seleccionó el Motor-reductor Flender atb-Loher RBF 0, 55/6-7R (Figura 2.11) cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 2.6



**Figura 2.11** Motor-reductor de las cortinas posteriores

**Tabla 2.6** Datos técnicos nominales del Motor-reductor de las cortinas posteriores

MOTOR		REDUCTOR	
Característica	Valor	Característica	Valor
Fases	1	Torque	400 Nm
Tensión	Y 220-240V	Velocidad	3.5rpm
Corriente Nominal	3,8-4,4 A	Tensión	380 V
Velocidad	1120/min	Frecuencia	60 Hz
Potencia	0,37 kW 0.496HP	We	66/6kTx385
Frecuencia	60 Hz	Bj	97(09)
Protección	IP54	A	9708.1059

## 2.4 CALCULO DE CONDENSADORES

Para poder realizar la arranqué e inversión de giro de los motor-reductores trifásicos de 220V, se empleó capacitores, debido a que el invernadero solo cuenta con una red monofásica de 110V AC. La selección de los condensadores se realizó con base en la potencia 0.4HP y tensión 110V de los motor-reductores y considerando la pérdida de potencia 25-30%. Los motor-reductores poseen potencia pequeña por lo que resulto conveniente conectar los motores trifásicos en una red de alimentación monofásica.

## Cálculo de capacidad del condensador Motor 1 y 2

### Ecuación 2.24 Capacidad del condensador

$$C = 50 \cdot P \left( \frac{220}{V_l} \right)^2 \cdot \left( \frac{50}{f} \right)$$

Donde  $V_l$  = es la tensión de línea (V).

$P$  = es la potencia del motor en (HP).

$f$  = es la frecuencia de la red (Hz).

Remplazando en la Ecuación 2.10, la potencia de los motores, de igual forma voltaje y frecuencia de la red monofásica.

$$P=0.30\text{HP}$$

$$V_L=110\text{V}$$

$$F=60\text{Hz}$$

$$C = 50 \times 0.30 \left( \frac{220}{110} \right)^2 \cdot \left( \frac{50}{60} \right) = 50 \mu\text{F}$$

Verificación empleando la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Los valores aproximados de la capacidad del condensador

Tensión red (V)	Condensador C	Tensión condensador $U_c$
220 V	~ 70 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 250 V
110 V	~ 240 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 125 V
380 V	~ 22 $\mu\text{F}/\text{kW}$	~ 430 V

Fuente: (LIFASA)

$$P = 0.30\text{kW}, V = 110\text{V}$$

$$1000\text{W} \rightarrow 240\mu\text{F}$$

$$300\text{W} \rightarrow x$$

$$x = \frac{(300\text{W})(240\mu\text{F})}{1000\text{W}} = 72\mu\text{F}$$

### Motor 3

$$P=0.496\text{HP}$$

$$V_L=110\text{V}$$

$$F=60\text{Hz}$$

$$C = 50 \times 0.496 \left( \frac{220}{110} \right)^2 \cdot \left( \frac{50}{60} \right) = 82.667 \mu F$$

Verificación empleando la Tabla 2.5.

$$P = 0.37 kW, V = 110V$$

$$1000 W \rightarrow 240 \mu F$$

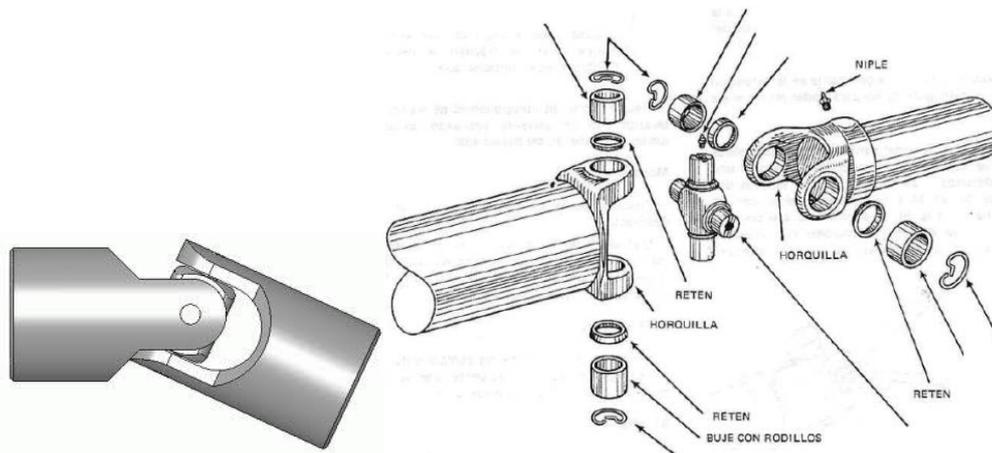
$$370W \rightarrow x$$

$$x = \frac{(370W)(240\mu F)}{1000W} = 88.80 \mu F$$

Obteniendo valores relativamente similares, de acuerdo con los resultados, se seleccionó un condensador de 80uF para los motores 1y 2, de igual manera para el motor 3 se seleccionó un condensador de 90uF.

## 2.5 JUNTAS UNIVERSALES

Este tipo de acoplamiento se utiliza para conectar arboles cuyos ejes geométricos se cortan, es decir cuya desalineación es permanente. (Faires, V M (s.f)). Está formado por dos horquillas unidas a los árboles de entrada y de salida, y entre las dos hay una pieza llamada cruceta (Figura 2.12). Cuando el árbol de entrada gira, arrastra a la cruceta y ésta a su vez arrastra al árbol de salida.



**Figura 2.12** Unión universal o cardan y sus partes.

Fuente: <http://dc170.4shared.com/doc/YuR4xjCr/preview.html>

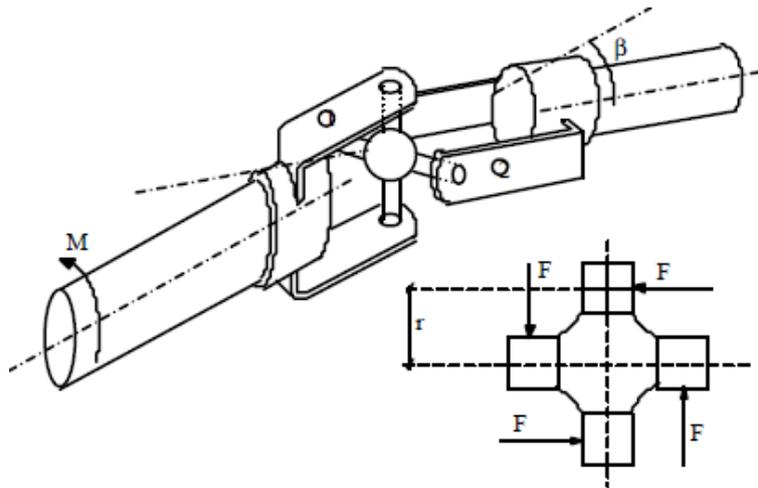
Ventajas operativas de las juntas cardan:

- Capacidad para operar con un alto ángulo de desalineación.
- Presentan una larga vida útil.
- Necesitan un mínimo mantenimiento.
- Soportan elevados pares y elevadas velocidades de funcionamiento.
- Soportan bien la contaminación ambiental.
- Operan bien incluso con una deficiente lubricación. (Rubio Higienio, (s.f.))

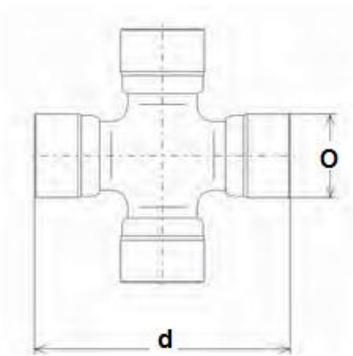
### **2.5.1 SELECCIÓN DE LAS JUNTAS UNIVERSALES**

Las juntas universales fueron seleccionadas considerando los 24 mm diámetro del eje de los motor-reductores, y los demás elementos de accionamiento del mecanismo como la barra de mando cuyo diámetro es de 25.4 mm, tubos cuadrados de 25.4x 1.5 mm de espesor (parte externa de la corredera), con respecto al material de las mismas se decidió por el hierro galvanizado debido a que estas estarán expuestas cambios climáticos bruscos. Las juntas universales que se acoplan a los motor-reductores fueron elaboradas con tubos de 25.4 mm de diámetro en cada lado de las horquillas y platinas dobladas, para compensar la holgura entre la junta y el eje del motor se empleó un bocín para acoplar. La segunda junta fue elaborada con tubo de 25.4 mm de diámetro en un lado y en otro con tubo cuadrado de 3/4x 1.5 mm espesor, 37cm de largo (parte interna de la corredera).

### **Diseño cordón de soldadura de la cruceta**



**Figura 2.13** Distribución de acciones en una junta



**Figura 2.14** Dimensiones de la cruceta

Fuente: (GMB, 2009)

$$O=2,362\text{cm}$$

$$d=6.417\text{cm}$$

**Ecuación 2.25.** Momento

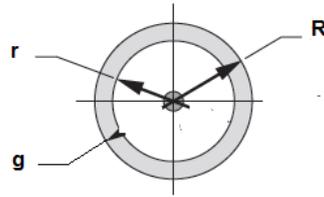
$$M = F \cdot d$$

$$F_c = \frac{M}{d} = \frac{50 \times 10^3 \text{ Nmm}}{0.06417 \times 10^3 \text{ m}} = 779,18 \text{ N}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{\pi(R^2 - r^2)} \leq \frac{S_y v}{F.S.}$$

**Ecuación 2.26.** Resistencia a la fatiga por torsión bajo esfuerzos fluctuantes

$$S_{su} = 0.67S_{ut}$$



**Figura 2.15** Área de corte

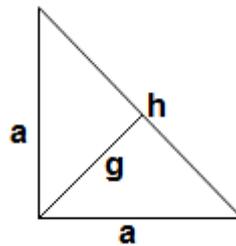
$$r=0=2,362\text{cm}$$

Tubo de acero SAE 1020 HR ;  $S_{ut}=380\text{MPa}$

$$\frac{779.18\text{N}}{\pi(R^2 - 23,62^2)} = \frac{0.67S_{ut}}{2.2}$$

$$R = 23,66\text{mm}$$

$$g = R - r = 23,66 - 23,62 = 0.04\text{mm}$$

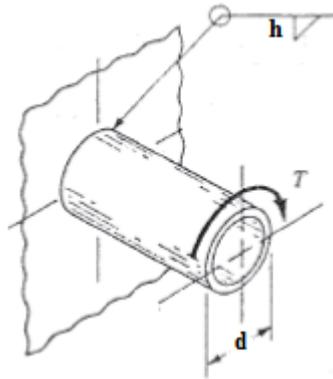


**Figura 2.16** Filete de soldadura

$$h = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2}$$

$$g = \frac{a\sqrt{2}}{2}; a = \frac{2g}{\sqrt{2}} = \frac{2(0.04)}{\sqrt{2}} = 0,0565\text{mm}$$

## Diseño cordón de soldadura entre horquillas y tubo



**Figura 2.17** Tubo soldado de la horquilla

Segundo momento polar unitario del área

$$J_u = 2\pi r^3 = 2\pi(16)^3 = 25735.92\text{mm}^3$$

Área de la garganta

$$J = 0.707hJ_u = 0.707(h)(25735.92)$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} \leq \frac{S_y v}{F.S.}$$

$$\frac{50 \times 10^3 (16)}{0.707(h)(25735.92)} = \frac{0.67(380)}{2.2}$$

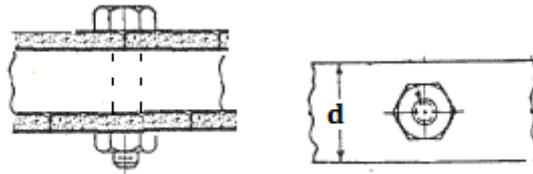
$$h = 0,3799\text{mm}$$

$$h = a$$

$$g = \frac{0,3799\sqrt{2}}{2} = 0,268\text{mm}$$

$$g = R - r; R = 0,268 + 16 = 16,268\text{mm}$$

## Calculo de pasadores



**Figura 2.18** Unión empernada

d =diamedtro estexno del tubo

$$F_c = \frac{M}{d} = \frac{50 \times 10^3 \text{ Nmm}}{32 \text{ mm}} = 1562.5 \text{ N}$$

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{\pi R^2} \leq \frac{S_y v}{F.S.}$$

$$\frac{1562.5 \text{ N}}{\pi R^2} \leq \frac{0.67 S_{yt}}{2.2}$$

Remplazando  $S_{yt}$  se obtiene  $R=2,073\text{mm}$  o  $D=4,146\text{mm}$ , mismo que es el diámetro del pasador.

De la misma forma hallamos el diámetro de la sección perforada. Siendo  $e=1.50\text{mm}$ , el espesor del tubo

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{e(2\pi r)} \leq \frac{S_y v}{F.S.}$$

$$\frac{50 \times 10^3}{1.5(2\pi r)} = \frac{0.67 S_{yt}}{2.2}; r = 1,43 \text{ mm o } d = 2.86 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Perno} \leftrightarrow d \text{ perno} \leq d \text{ perforacion}$$

$$> 1 \text{ Perno} \leftrightarrow d \text{ perno} > d \text{ perforacion}$$

Comparando los diámetros obtenidos tanto del perno como de la perforación se estableció emplear un solo perno 5mm de diámetro en todas las uniones.

## Cálculo de Tubo de juntas universales

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot r}{J}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T \cdot r}{\frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)} =$$

$$\frac{(50 \times 10^3 \text{ mm}) \cdot 16 \text{ mm}}{\frac{\pi}{32} (16^4 - d_i^4)} = \frac{0.67 S_{yt}}{2.2}$$

$$d_i = 31.448 \text{ mm}$$

**Ecuación 2.27** Módulo resistente de la sección

$$W = \frac{J}{r} = \frac{7019,097 \text{ mm}^4}{16 \text{ mm}} = 438 \text{ mm}^3; 0,438 \text{ cm}^3$$

Con el Módulo resistente de la sección  $W$  calculado, considerando que debe ser igual o mayor se seleccionó el tubo 31.75mm con un espesor de 1,5mm para las juntas universales (Anexo B1)



**Figura 2.19** Junta universal diseñada

## 2.6 SELECCIÓN DE CONTACTORES Y RELÉS

Para controlar el sentido de giro de los motores, Se seleccionó varios contactores LS Metasol MC-9b AC110V 50/60Hz del mismo tipo, (Figura 2.11), mismos que fueron seleccionados con base en la potencia= 0.4HP, voltaje de la red 110 A y corriente nominal de los motores 1.60 A, y al tipo de carga (AC3) seleccionada de acuerdo con las Tablas 2.8 y 2.9. Cabe mencionar que los motores trifásicos de 220 serán conectados a una red monofásica de 110V a través de un condensador. Las especificaciones técnicas de los contactores y relés térmicos encuentran en los Anexos C, D y E.

**Tabla 2.8** Clasificación de contactores en relación con la categoría de empleo.

<b>Categoría de empleo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicaciones</b>
Categoría AC1	Corresponden a todo tipo de carga AC con un factor de potencia por encima del 0.95	Receptores de calefacción y líneas de distribución
Categoría AC '2	El corte de corriente se produce a motor lanzado. Al cierre, el contactor establece la corriente de arranque, superior a 2,5 veces la intensidad nominal del motor	Motor de anillos rozantes Equipos para puente, grúas y maquinarias de gran potencia con tiempos de arranque prolongados
Categoría AC2	Esta categoría se refiere al arranque, al frenado contra corriente, así como la marcha por impulsos de los motores de anillos, $\cos \phi = 0,3$ a $0,7$	
Categoría AC3	Se refiere a motores de jaula cuyo corte se efectúa durante el arranque o inversión de marcha a motor lanzado. Al cierre de permitir el paro de la corriente de arranque la cual puede llegar a ser a 5 o más veces superior a la corriente nominal	Todos los motores de jaula de ardilla corrientes, ascensores, escaleras mecánicas, compresores, etc.
Categoría AC4	Esta categoría se refiere al arranque, al frenado por el contrario corriente y la marcha por impulsos de los motores jaula	Trefiladoras, metalurgias, elevación, etc.

	de ardilla. Al cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la intensidad nominal del motor	
--	---	--

Fuente: (SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A. (s.f.))  
**(Continuación Tabla 2.8)**

**Tabla 2.9** Tabla de especificaciones y selección de contactores magnéticos tipo MC

Frame size		18AF				22AF					
Type	screws clamp terminals	MC-6a	MC-9a	MC-12a	MC-18a	MC-9b	MC-12b	MC-18b	MC-22b		
Number of poles		3pole				3pole					
Rated operational voltage, Ue		690V				690V					
Rated insulation voltage, Ui		690V				690V					
Rated frequency		50/60Hz				50/60Hz					
Rated impulse withstand voltage, Uimp		6kV				6kV					
Maximum operating rate in operating cycles per hour(AC3)		1800 operations per hour				1800 operations per hour					
Durability	Mechanical	15 mil. operations				15 mil. operations					
	Electrical	2.5 mil. operations				2.5 mil. operations					
Current and power	AC-1 Thermal current	A	25	25	25	32	25	25	40	40	
	AC-3	200/240V	kW	2.2	2.5	3.5	4.5	2.5	3.5	4.5	5.5
		380/440V	kW	9	11	13	18	11	13	18	22
	500/550V	A	3	4	5.5	7.5	7.5	4	5.5	7.5	11
		kW	7	9	12	18	18	9	12	18	22
	690V	A	3	4	7.5	7.5	7.5	4	7.5	7.5	15
		kW	6	7	12	13	13	7	12	13	20
A	4	5	9	9	9	6	9	9	18		
UL rating (50/60Hz)	Continuous current	A	25	25	25	32	25	25	40	40	
		HP	0.5	0.5	0.75	1	1	0.5	0.75	1	2
	Single phase	110-120V	HP	1.5	1.5	2	3	3	1.5	2	3
		220-240V	HP	2	2	3	5	5	2	3	5
	Three phase	220-240V	HP	3	3	5	7.5	7.5	3	5	7.5
		440-480V	HP	5	5	7.5	10	10	5	7.5	10
550-600V	HP	7.5	7.5	10	15	15	7.5	10	15		
Size and weight	AC control	Weight	0.33				0.34				
	DC control	Weight	0.5				0.51				
Auxiliary(standard)	AC control	Size(W x H x D)	45 x 73.5 x 80.4				45 x 73.5 x 87.4				
	DC control	Size(W x H x D)	45 x 73.5 x 110.7				45 x 73.5 x 117.7				
Auxiliary	Side mount		1NO or 1NC				1NO1NC				
	Front mount		UA-1				UA-1				
			UA-2, UA-4				UA-2, UA-4				

Note) Minimum conduct current of Auxiliary contacts is DC 17V 5mA.

### MT type Thermal Overload Relays

Type	Screws clamp terminals	MT-12□	MT-32□
Rated operational voltage, Ue		690V	690V
Rated insulation voltage, Ui		690V	690V
Rated impulse withstand voltage, Uimp		6kV	6kV
Trip class		10A, 20	10A, 20
Setting range		0.1-18A	0.1-40A
Size and weight	Weight	0.1	0.17
	Size(W x H x D)	45 x 73.2 x 63.7	45 x 75 x 90

Fuente: (LSIS, 2008)



**Figura 2.20** Contactor LS Metasol MC-9b AC110V 50/60Hz

Fuente: <http://phuonglai.com/contactor/contactor-ls/mc-9b-contactor-ls-3p-9a-detail.html>

Estos contactores se caracterizan por fácil adquisición, son económicos su robustez, fiabilidad permiten controlar de forma fácil y segura los motores

Para prevenir fallos por sobrecargas en el arranque de los motores, se decidió utilizar unos relés térmicos en los motores los mismos que permiten o impiden el paso de corriente a los motores en caso de existir altos picos de corrientes o falla. Estos fueron seleccionados en relación con la corriente de los motores y con base en la categoría de empleo mostrada en la Tabla 2.10. Estos son de marca SIEMENS tipo 3RU2116-1CB0, 1DB0 y MT-32/3K de la marca LS (Ver Figura 2.21), sus especificaciones detalladas se encuentran en los Anexos D y E respectivamente.



**Figura 2.21** Relé térmico SIEMENS SIRIUS tipo 3RU2116-1CB0

Fuente: Hoja de datos, Siemens Relé térmico 3RU2116-1CB0

**Tabla 2.10** Relés de sobrecarga bimetalicos SIRIUS Innovations 3RU21

No. de Depósito	Descripción					Precio Lista (incl. IVA 5)
	Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A)	Para contactores serie SIRIUS	
<b>Relés de sobrecarga Bimetalicos SIRIUS innovations</b>						
100176277	3RU2116-0B0	3RU1116-0B0	500	0.7 - 1.0	3RT201	36,72
100176279	3RU2116-1AB0	3RU1116-1AB0	500	1.1 - 1.6	3RT201	36,72
100176281	3RU2116-1BB0	3RU1116-1BB0	500	1.4 - 2.0	3RT201	36,72
100176283	3RU2116-1CB0	3RU1116-1CB0	500	1.8 - 2.5	3RT201	36,72
100176285	3RU2116-1DB0	3RU1116-1DB0	500	2.2 - 3.2	3RT201	36,72
100176287	3RU2116-1EB0	3RU1116-1EB0	500	2.8 - 4.0	3RT201	36,72
100176289	3RU2116-1FB0	3RU1116-1FB0	500	3.5 - 5.0	3RT201	36,72
100176291	3RU2116-1GB0	3RU1116-1GB0	500	4.5 - 6.3	3RT201	36,72
100176293	3RU2116-1HB0	-	500	5.5 - 8.0	3RT201	36,72
100176295	3RU2116-1JB0	-	500	7.0 - 10.0	3RT201	36,72
100176297	3RU2126-1CB0	3RU1126-1CB0	50	1.8 - 2.5	3RT202	41,53
100176299	3RU2126-1DB0	3RU1126-1DB0	50	2.2 - 3.2	3RT202	41,53
100176301	3RU2126-1EB0	3RU1126-1EB0	50	2.8 - 4.0	3RT202	41,53
100176303	3RU2126-1FB0	3RU1126-1FB0	50	3.5 - 5.0	3RT202	41,53
100176305	3RU2126-1GB0	3RU1126-1GB0	50	4.5 - 6.3	3RT202	41,53
100176307	3RU2126-1HB0	3RU1126-1HB0	50	5.5 - 8.0	3RT202	41,53
100176309	3RU2126-1JB0	3RU1126-1JB0	50	7.0 - 10.0	3RT202	41,53
100176311	3RU2126-1KB0	3RU1126-1KB0	50	9.0 - 12.5	3RT202	41,53
100176313	3RU2126-4AB0	3RU1126-4AB0	50	11.0 - 16.0	3RT202	41,53
100176315	3RU2126-4BB0	3RU1126-4BB0	50	14.0 - 20.0	3RT202	41,53
100176317	3RU2126-4CB0	3RU1136-4CB0	50	20.0 - 25.0	3RT202	41,53
100176319	3RU2126-4DB0	3RU1136-4DB0	50	23.0 - 28.0	3RT202	66,09
100176321	3RU2126-4EB0	3RU1136-4EB0	50	27.0 - 32.0	3RT202	66,09
100176323	3RU2126-4FB0	3RU1136-4FB0	50	30.0 - 36.0	3RT202	66,09
100176325	3RU2126-4FB0	3RU1136-4FB0	50	34.0 - 40.0	3RT202	66,09
 <p>3RU2116-1FB0                      3RU2126-1CB0</p>						
<b>Relés de sobrecarga Bimetalicos 3RU<sup>11</sup></b>						
100015318	3RU1136-4HB0	-	52	40.0 - 50.0	3RT103	91,91
100015327	3RU1146-4BB0	-	53	45.0 - 63.0	3RT104	91,91
100015329	3RU1146-4KB0	-	53	57.0 - 75.0	3RT104	91,91
<b>Relés de sobrecarga electrónicos 3RB20</b>						
100016451	3RB2046-1EB0	-	53	25.0 - 100.0	3RT1044/1045/1046	169,93
100016431	3RB2056-1FW2	-	56	50.0 - 200.0	3RT1054 / 1055 / 1056	222,10
100016454	3RB2066-1OC2	-	510/512	55.0 - 250.0	3RT1064 / 1065	222,10
100016435	3RB2066-1MC2	-	510/512	160.0 - 630.0	3RT1075 / 1076	394,63
 <p>3RU2046                      3RU2056-1FW2                      3RU2066-1MC2</p>						

Fuente:( Siemens, 2014)

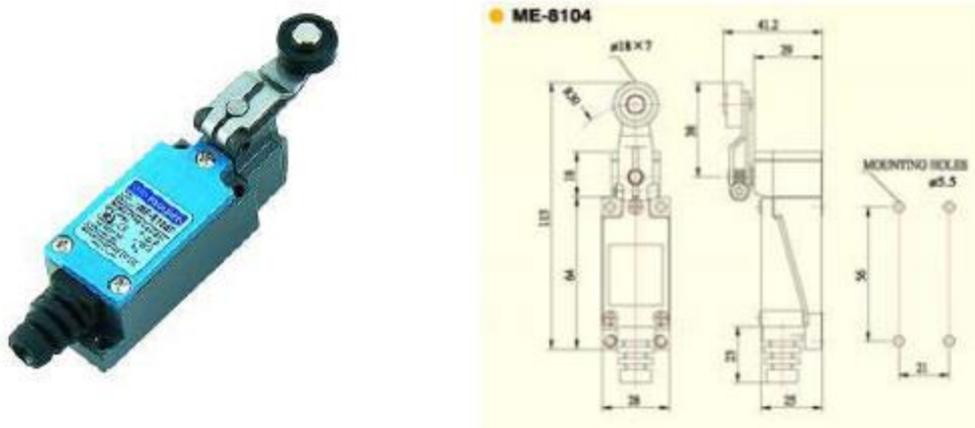
## 2.7 DISPOSITIVOS DE MANDO

Todos los componentes que se emplean en los circuitos de control de los motores se pueden clasificar en dispositivos de control primario y en dispositivos piloto o de mando. Un dispositivo primario de control es el que conecta la carga directamente a la línea, tal como un arrancador o controlador de motor, tanto si es

manual como automático. Los dispositivos piloto de control son aquellos que controlan o modulan a los dispositivos primarios de control. Pertenecen a la categoría de dispositivos piloto o de mando los pulsadores, los interruptores de flotador, los interruptores o conmutadores de presión y los termostatos. (Intyre, (s.f)).

### 2.7.1 SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES DE LÍMITE

Se eligieron los interruptores con rodamiento ajustable tipo brazo marca mounjen modelo ME-8104 (Figura 2.22), para ser colocados como medida de seguridad en los extremos superior e inferior de las ventanas del invernadero, Con estos interruptores se detecta cuando la cortina llegue a cualquiera de los dos extremos. La selección se hizo con base en el costo, dimensiones y la norma de protección contra intemperie que tienen los dispositivos.



**Figura 2.22** Interruptor mounjen modelo ME-8104.

Fuente: <http://www.moujenswitch.com/>

**Tabla 2.11** Características de operación de MINI LIMIT SWITCH serie ME

	ME-8104	ME-8107	ME-8108	ME-8111	ME-8112
OF MAX	600g	203g	340g	900g	900g
RF MIN	50g	12g	21g	150g	150g
PT MAX	20°	20°	20°	1.5mm	1.5mm
OT MIN	75°	75°	75°	4.0mm	4.0mm
DT MAX	10°	10°	10°	0.7mm	0.7mm
TT MIN	*	*	95°	5mm	5mm

	ME-9101	ME-8122	ME-8169	ME-8166
OF MAX	900g	900g	90g	90g
RF MIN	*	150g	*	*
PT MAX	30mm	1.5mm	30mm	30mm
OT MIN	20mm	4.0mm	20mm	20mm
DT MAX	*	0.7mm	*	*
TT MIN	*	5mm	*	*

Fuente: <http://www.moujenswitch.com/>

Entre algunas características de este interruptor están su rango de tensión de operación que va de 0.4A a 115V DC o 5A a 250V AC, su resistencia de contacto 15m W máx. (Inicial), resistencia a la insolación 100M W min. (A 500 VDC), su vida de servicio mecánicamente 10,000,000 operaciones y eléctricamente 300,000 operaciones, su grado de protección IEC 529 clase IP65. Estas y las demás características se pueden observar en el Anexo F y en la Tabla 2.10.

## 2.8 SENSORES DE HUMEDAD

Para la medición de la humedad relativa no existe una tecnología apropiada para todas las aplicaciones. Algunas de las tecnologías comúnmente usadas para su medición pueden ser hechas por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos y capacitivos. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

A continuación se describen estas tecnologías y se realiza un cuadro comparativo de sus ventajas y desventajas.

### 2.8.1 PSICOMETRÍA

Psicometría es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad y bajo costo. Un típico psicómetro consiste en un par de termómetros eléctricos acoplados, uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona, la evaporación del agua enfría el

termómetro humedecido, resultando una diferencia con la temperatura ambiente que puede ser relacionada con la humedad. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **2.8.2 DESPLAZAMIENTO**

El sensor de desplazamiento es el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de un cierto material, típicamente nylon o celulosa, que es proporcional a los cambios en el nivel de humedad relativa. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **2.8.3 RESISTIVO**

El sensor resistivo está compuesto de un sustrato cerámico sobre el cual se deposita una malla de electrodos se cubre con una sal sensible a la humedad rociada con una resina (polímero) recubierta con una capa permeable al vapor de agua. A medida que la humedad entra a la capa de protección, el polímero se ioniza y los iones se movilizan dentro de la resina. Al moverse los iones, se modifican la impedancia del polímero con lo que puede calcularse el porcentaje de humedad relativa. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

### **2.8.4 CAPACITIVO**

El sensor capacitivo normalmente es diseñado con electrodos porosos en platos paralelos o con filamentos entrelazados como material dieléctrico. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios de nivel de humedad, causando cambios en la constante dieléctrica y variación en el valor de la capacitancia de dispositivo. (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

**Tabla 2.12** Ventajas y desventajas de sensores de humedad relativa.

Sensor de Humedad Relativa	Ventajas	Desventajas
<b>Psicometría</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación</li> <li>• Es fácil de operar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede utilizarse a temperaturas de 0°C.</li> <li>• No se utilizan en ambientes pequeños o cerrados</li> </ul>
<b>Desplazamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo de fabricación</li> <li>• Inmune a la contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia a la descalibración con el paso del tiempo.</li> </ul>
<b>Resistivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La contaminación superficial no afecta la precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La contaminación superficial afecta el tiempo de respuesta</li> <li>• A niveles de humedad menores que 20% el sensor se hace no lineal.</li> </ul>
<b>Capacitivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sencilla calibración del sensor.</li> <li>• Sensible a niveles bajos de humedad.</li> <li>• Costo reducido</li> <li>• Rápido tiempo de respuesta</li> <li>• Operación en altas temperaturas</li> <li>• Se pueden conectar fácilmente a equipos de control automático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A valores superiores a 90% el sensor tiende a saturarse y se convierte en no lineal.</li> </ul>

Fuente: (Perdigones, Peralta, Nolasco, Muñoz, & Pascual, 2004); (Hernández Hernández & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro, 2007)

## 2.9 SELECCIÓN DE LOS SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA

Para la selección de los sensores de humedad relativa, se consideraron los siguientes aspectos:

- La humedad relativa en zona del invernadero
- Compatibilidad de la salida de señal del sensor con el sistema de control
- Intervalo de calibración requerido del sensor y facilidad de la calibración
- Rango y resolución adecuada para poder controlar la variable (HR) del sistema
- Principio de funcionamiento (Tabla 2.12)
- Capacidad para recuperarse de la condensación
- Costo

**Tabla 2.13** Características de algunos sensores de humedad relativa

Marca	Honeywell	Honeywell	Humirel	Hope RF	D-Robotics	Aosong
Característica						
Sensor	HIH 4000 Series	HIH-4030/31 Series	HS-1100/1101	HH10D	DHT11	AMT1001
Tensión de alimentación	4 – 5.8 Vdc	10 Vac	10 Vac	2.7 - 3.3 V	3-5.5 Vac	4-5.5V DC
Rango de Humedad de trabajo	0-100 %HR	1 a 100%	1 -99 %HR	1-99%	20-90%RH	humidit y 20-90%RH ; temperature 0~50Celsius
Rango de	-40[-40]	-40 a 100°C	-40 a 100	-10 +60C	0-50°C	0 ~ 60

Temperatura de operación	a85[185] °C[°F]		°C			°C
Linealidad	lineal	lineal	No lineal	No lineal	No lineal	
Tiempo de respuesta	5s	5s	5s	8s	10 s	10s(pro medio)
Estabilidad a largo plazo	1.2 %HR	±1.2 %HR ±0.5 %HR	0.5 %RH/Año	-0.5-0.5 %	±1%RH/Año	+ - 1%RH/ Año
Sensibilidad			33% to 75% RH 0.34 pF/%RH			humidit y 1%RH;  tem peratur e 1Celsiu s
Repetitividad	±0.5 %HR	±0.5 %HR		-0.3 0.3 %	±1°C	
Exactitud	-3.5 a +3.5 %HR	-3.5 a +3.5 %HR		3%	±1°C a±2°C	+ - 5%RH
Precio	\$30	\$30	\$13	\$25	\$15	

Fuente: (<http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=141>) ;(Honeywell, 2008) (Honeywell, 2010);(Humirel, 2002), (HOPE MICROELECTRONICS CO., LTD, 2006); (D-Robotics, 2010) (Continuación **Tabla 2.13**)

De acuerdo con el análisis comparativo (Tabla 2.13) de los aspectos mencionados anteriormente se llegó a la conclusión de que los sensores más adecuados para el sistema fueron AMT1001 (Figura 2.23).

Este sensor es análogo, se puede conectar directamente al controlador u otro dispositivo ya que posee una señal de voltaje lineal, no necesita calibración, ofrece alta resistencia en aplicaciones de ambientes desafiantes, por otra parte es

estable, tiene rápido tiempo de respuesta, bajo consumo de energía, medición exacta. Las especificaciones técnicas del sensor se incluyen en el Anexo G.



**Figura 2.23** Sensor de temperatura y humedad relativa AOSONG AMT1001

Fuente: <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=141>

## 2.10 SELECCIÓN DEL PLC

Después de determinar el mecanismo de apertura y cierre de la ventanas del invernadero, se estable el control a implementarse será difuso de tipo on-off con base en la humedad relativa interna y externa.

La selección de Controlador Lógico Programable se efectuó teniendo presente primero el tipo las entradas y salidas que demanda el sistema (Tabla 2.14), En siguiente lugar se investigó las características más importantes relacionándolas con otros PLCs equivalentes (Tabla 2.15).

**Tabla 2.14** Necesidades del sistema.

DESCRIPCIÓN	TIPO
Selector de control manual o automático	Entrada Digital
Paro de emergencia	Entrada digital
Interruptor abrir cortina 1	Entrada Digital
Interruptor cerrar cortina 1	Entrada Digital
Interruptor abrir cortina 2	Entrada Digital
Interruptor abrir cortina 2	Entrada Digital
Interruptor cerrar cortina 3	Entrada Digital
Interruptor abrir cortina 3	Entrada Digital
Sensor de humedad relativa 1	Entrada análoga
Sensor de humedad relativa 2	Entrada análoga
Giro horario motor 1	Salida Digital

Giro anti horario motor 1	Salida Digital
Giro horario motor 2	Salida Digital
Giro anti horario motor 2	Salida Digital
Giro horario motor 3	Salida Digital
Giro Anti horario motor 3	Salida Digital
Luz piloto humedad relativa interna	Salida Digital
Luz piloto fallo de final de carrear	Salida Digital

(Continuación **Tabla 2.14**)

**Tabla 2.15** Cuadro comparativo de Controladores Lógicos Programables

Características	PLC			
	Siemens LOGO! 12/24 RC	Moeller EASY512- AB-RC	Telemecanique Zelio Logic SR3B101B	Omron ZEN-10C1AR- A-V2
Alimentación	12/24V DC	24V DC	24V CA	100VAC a 240VAC
Entradas Digitales (DI)	8	8	6	6
Entradas Analógicas	4 (entradas 0- 10VDC): I1, I2, I7, I8	2	-	-
Salidas Digitales (DO) a relé	4	4	4	4
Conectividad a HMI	LOGO TD!	Display multifunción MFD-Titan®	-	RS485
Pantalla LC / teclado	si/si	si/si	si/si	Si/si
Software	LOGO!Soft Comfort • FUP • KOP • UDF	Easy-soft	Zelio Soft • Ladder • FBD	Zen-soft • Ladder
Memoria	2000 Bytes 200 Bloques 60 REM		120 Lineas 200 Bloques	Interna EEPROM
Aplicaciones	• Industria. • Edificios		• Automatizació n de	• Automatizació n y Control

	funcionales y residenciales.		barreras,puertas corredizas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iluminación,compresores y climatización</li> <li>• Máquinas de acabado pequeñas</li> </ul>	de Procesos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrial</li> </ul>
Grado de protección	IP20	IP20		IP20
Soporte técnico	Si	Si	Si	Si
Precio	\$157	\$300	\$170	\$170

Fuente: (Siemens, Lista de precios Ecuador, 2014); (OMRON, 2014); (Schneider Electric, 2014) y (KloeME S.A de C.V., 2014) (Continuación **Tabla 2.15**)

Estudiando las Tablas 2.14 y 2.15 se decidió que el PLC LOGO! 12/24 RC es el más apropiado para el proyecto tanto por su disposición de entradas y salidas como por posibilidad de expansión de las mismas mediante módulos, también por su precio económico. Las especificaciones técnicas se encuentran disponibles en el Anexo H

Complementariamente, se eligió este PLC por los siguientes motivos.

- La programación se la puede desarrollar mediante diagrama de funciones (FUP) o esquema de contactos (KOP) , lo cual permite una fácil accesibilidad al mismo y a sus futuras modificaciones.
- El software de programación posee la opción de simulación, la cual ayuda al programador
- Posee una memoria con capacidad de alojamiento un máximo 200 bloques
- Tiene un grado de protección IP20, (con protección contra el polvo y sin protección contra el agua). Para proteger del agua el PLC se encuentra dentro del gabinete.
- Su precio conveniente, también este PLC es fácil de adquirir en nuestro medio.
- Es robusto, compacto y flexible.

### **2.10.1 MODULO DE EXPANSIÓN E IMPLEMENTOS**

Para proveer la tensión de alimentación de 12/24V DC al PLC, se empleó la fuente de poder LOGO! Power. 24/ 2.5 A (6EP1332-1SH43) de siemens (Anexo I), a su vez esta protege de daños causados en el PLC por sobrecarga.

También se empleó el módulo de expansión para señales digitales LOGO! DM8 12/24R (Ver Anexo J) que posee cuatro entradas y salidas. Completando de esta forma las necesidades del sistema (Tabla 2.14). Para emplear los sensores de humedad relativa análogos, se utilizó el módulo de expansión para señales analógicas AM2, cuyas especificaciones técnicas se aprecian en el Anexo K.

### **2.11 SELECCIÓN DEL CALIBRE DE CONDUCTORES**

El calibre del conductor para los motores trifásicos fue seleccionado mediante un previo cálculo. La corriente de los conductores del circuito derivado debe ser al menos del 125% de la corriente a plena carga o nominal del motor. (INTECAP, 2002)

$$I = 1.25I_N = 1.25 \times 2A = 2.5A$$

De acuerdo con los resultados obtenidos el calibre adecuado en cobre es 18 AWG mismo que soporta una corriente de 2.5 A, mayor a la corriente de consumo 2.219 A del motor, pero con fines de mayor seguridad se elige el 16 AWG que posee una capacidad de 3.7 A. (Ver Anexo L)

Para los interruptores de límite, el calibre del conductor seleccionado fue el 18 x3 AWG, mismo que es recomendado por la hoja de datos del dispositivo

## **CAPÍTULO III**

### **3 DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE HUMEDAD RELATIVA**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se describe el diseño, programación y finalmente la implementación del sistema de control difuso de la humedad relativa.

#### **3.2 ESTUDIO DE HUMEDAD AMBIENTE**

Este estudio se ejecutó con el fin de conocer el comportamiento de la humedad relativa en el interior del invernadero, de esta manera poder determinar cuántos sensores humedad relativa será necesario además con este estudio se cuentan con los rangos para activar el mecanismo de cierre o apertura de cortinas. Inclusive nos permite registrar datos reales del proceso (Ver Anexo M), para posteriormente obtener el modelo matemático de planta.

Para medir y registrar la humedad relativa dentro y fuera del invernadero, se empleó un Termo-Higrómetro electrónico modelo ETHG-912. Este tiene un rango de medida de la temperatura 0°C a 50°C y 25% a 95% de humedad Relativa.

Las medidas fueron tomadas en el centro del invernadero, en un día de 9:00 AM a 5:00 PM cada minuto.

#### **3.3 MODELO DEL SISTEMA HUMEDAD RELATIVA**

##### **3.3.1 HISTORIA**

La modelación del clima en invernaderos se desarrolla de manera formal a inicios de los 80. Dos de las primeras propuestas fueron realizadas en la Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda en 1983. Posteriormente en 1992 Tchamitchian propone una mejora a estos modelos, seguidamente Takakura propone un modelo no lineal distinto a los anteriores, el cual considera la temperatura de la cubierta, la temperatura del aire interior, piso y temperatura de

la planta como variables de estado. Recientemente Ferreira y Ruano desarrollaron un modelo basado en redes neuronales artificiales. ( Leal Iga, Alcorta García, & Rodríguez Fuentes, 2006).

### **3.3.2 IMPORTANCIA DEL MODELAMIENTO CLIMÁTICO**

El desarrollo de modelos del clima permite predecir el comportamiento de los diferentes componentes que integran el agro-sistema invernadero y sus interacciones. Éstos permiten controlar mejor las condiciones de crecimiento dentro del invernadero, también son empleados en el diseño de invernaderos, y para el análisis y diseño de nuevos algoritmos y métodos de control. ( Castañeda Miranda, Ventura Ramos, Peniche Vera, & Herrera Ruiz, 2007)

### **3.3.3 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA.**

Este método se basa en el análisis de los datos de entrada y salida del proceso, obtenido mediante experimentación, donde las señales de entrada y salida del sistema a identificar son grabadas y sujetas a un análisis de datos en orden para inferir un modelo. Este método no incorpora conocimiento directo del sistema y no son adecuados para usarse en otras configuraciones o tipos de sistemas. (Castañeda, Herrera, & García Escalante, 2003; Castañeda Miranda, Ventura Ramos, Peniche Vera, & Herrera Ruiz, 2007)

### **3.3.4 SELECCIÓN DE MÉTODO PARA HALLAR EL MODELO**

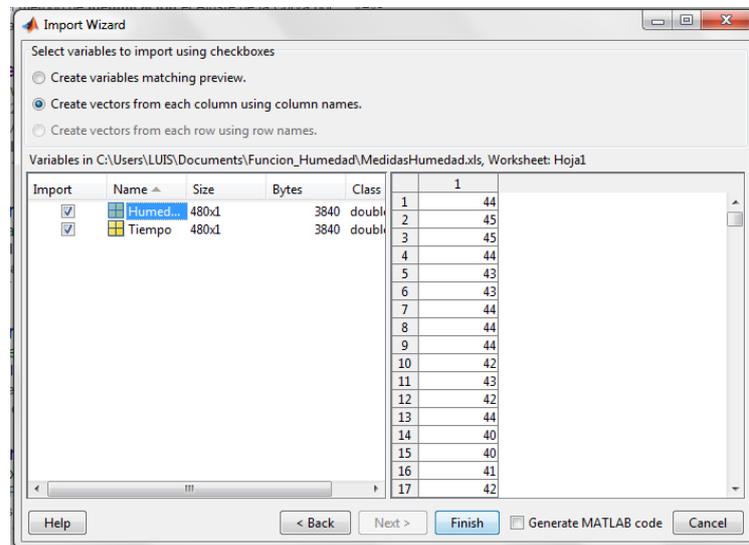
El método para obtener el modelo que se selecciono fue el basado en el análisis de los datos de entrada y salida del proceso, denominados modelos de clima de caja negra.

Teniendo como datos de datos de entrada el tiempo y datos de salida humedad relativa. (Ver Anexo M). El análisis y simulación del modelo se llevó a cabo en las aplicaciones System Identification Toolbox y Simulink de Matlab®

### **3.3.5 IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA**

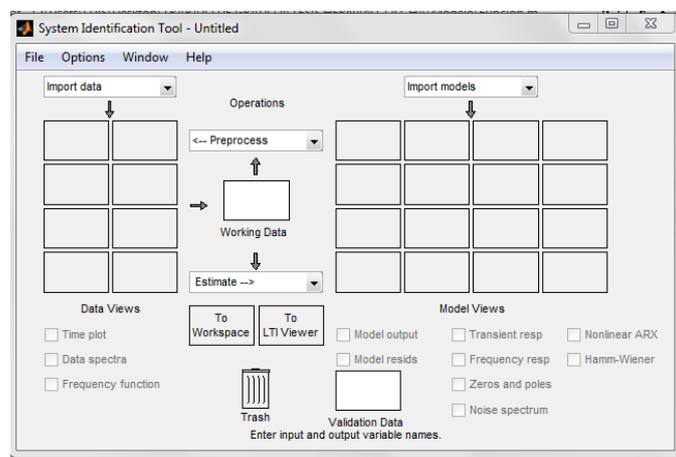
Con los datos recogidos experimentalmente de la Humedad relativa interna en función de tiempo, se procede a analizar el efecto de la entrada en dicha salida.

De igual manera, los mismos datos recolectados y guardados en un fichero de Excel, se importa los datos y se selecciona crear un vector por cada columna usando el nombre de columna.



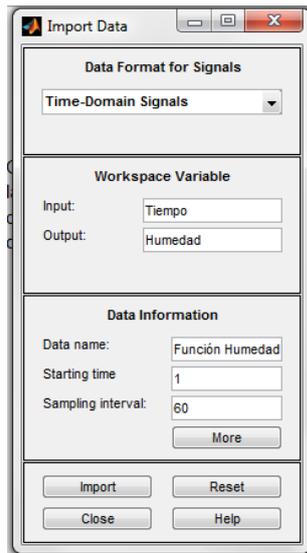
**Figura 3.1** Importación de datos de Excel a Matlab

A continuación abrimos ident e importamos los datos de gradados en Workspace en domino del tiempo para describir el análisis de la función matemática respecto al tiempo. Véase Figura 3.2.



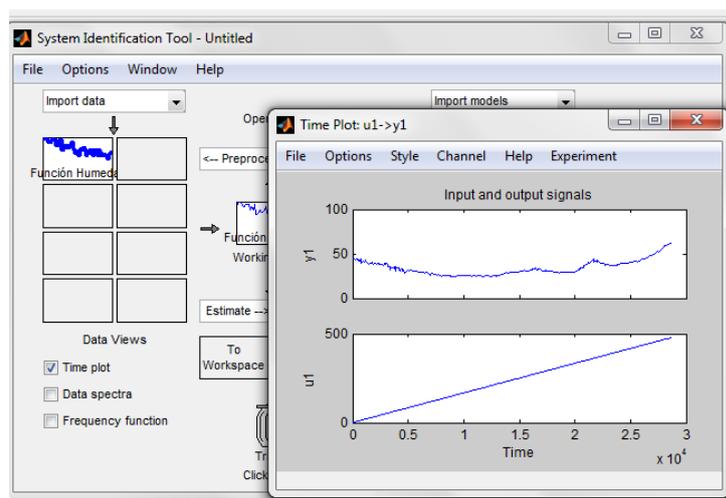
**Figura 3.2** Comando ident de Matlab

Como se aprecia en la Figura 3.3 en la variable de entrada se ingresa “Tiempo” y en la variable de salida “Humedad” de la función llama “Función Humedad” con instante de comienzo 1 y tiempo de muestreo de 60 segundos, que es el tiempo de muestreo que se fijó cuando se tomaron los datos, presionar Import se generará el primer conjunto de datos:



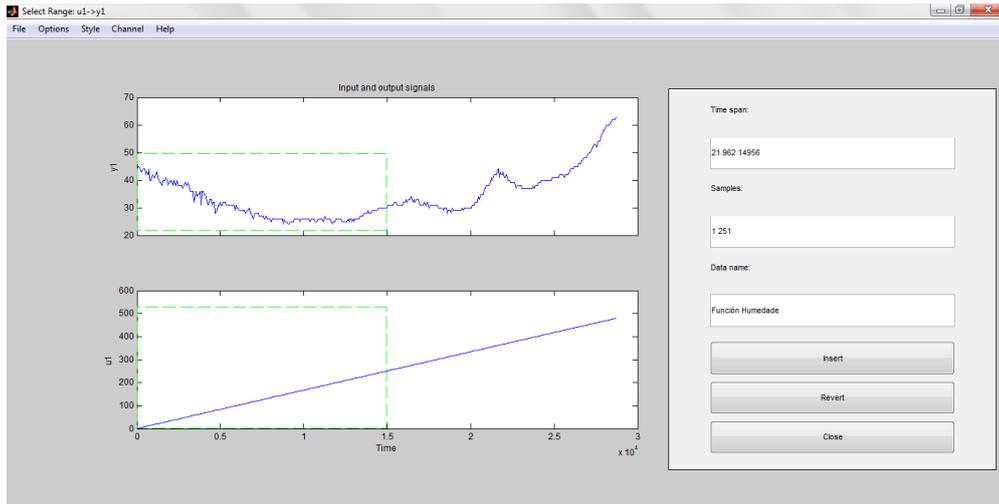
**Figura 3.3** Entrada de datos importados

Marcando la casilla Time plot aparecen las variables del conjunto de datos seleccionado en Data representadas frente al tiempo (Ver Figura 3.4.).



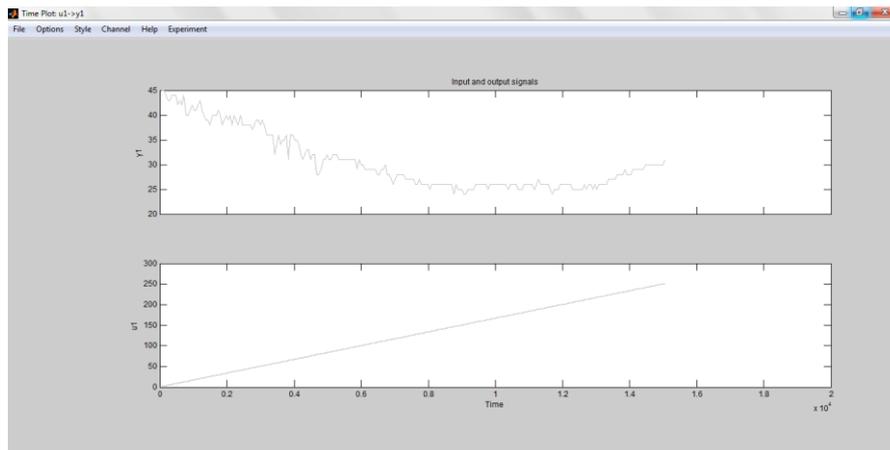
**Figura 3.4** Señales de entrada  $u_1$  (Tiempo) y salida  $y_1$  (Humedad) en función del tiempo.

Posteriormente se pasa a pre-procesar el conjunto de datos, seleccionamos un rango de visualización dentro del conjunto (Ver Figura 3.5.)



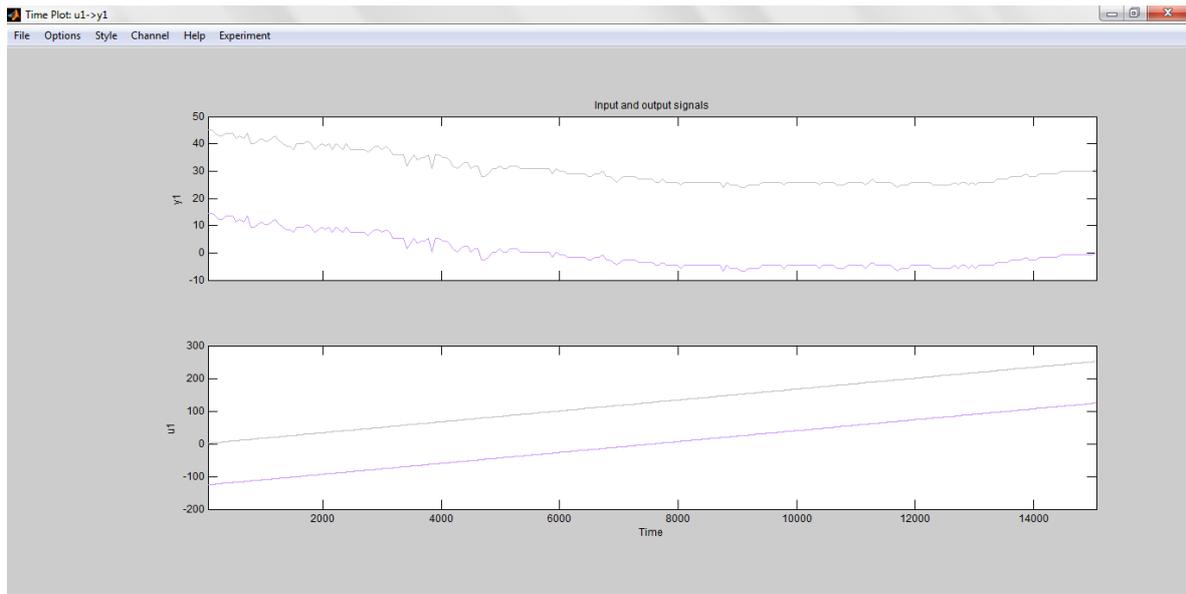
**Figura 3.5** Selección de rango

Al presionar en insertar se generará un nuevo conjunto de datos que se le asigna un nombre. (Ver Figura 3.6)

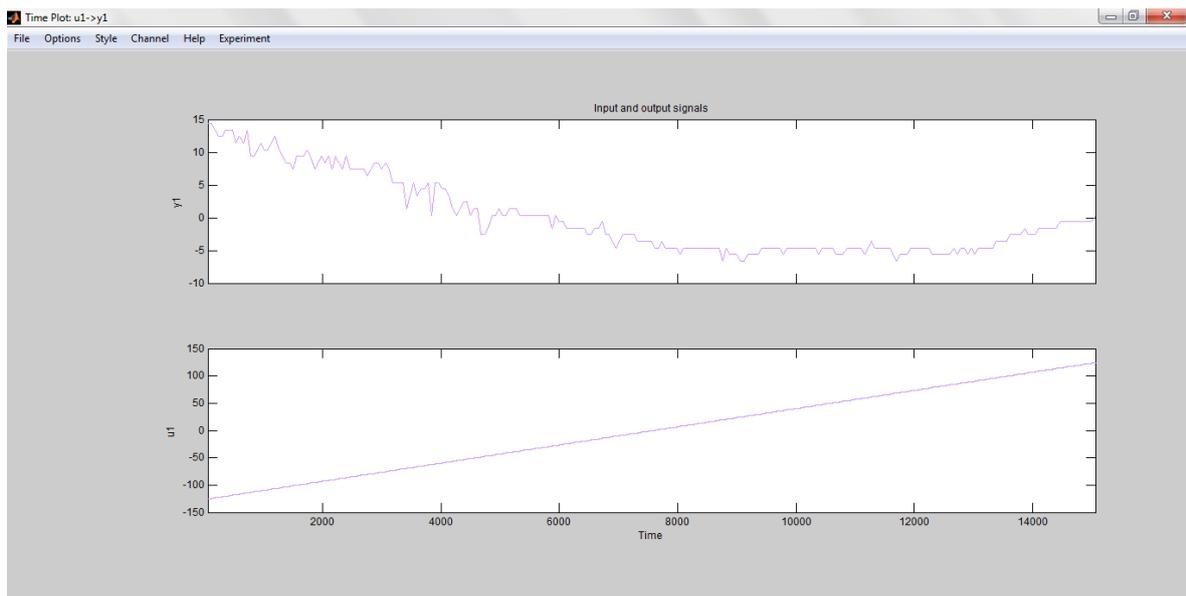


**Figura 3.6** Ampliación de la gráfica de la señal un función del tiempo

Se eliminó medios en la nueva gráfica obtenida en dominio del tiempo. (Figura 3.7)



**Figura 3.7** Eliminación de medios en función del tiempo



**Figura 3.8** Grafica sin el offset

Se determinó los valores estimados de la función de transferencia procesando el modelo con 3 polos (Figura 3.9) y posteriormente con tres polos y un cero (Figura 3.10) para determinar la respuesta del sistema.

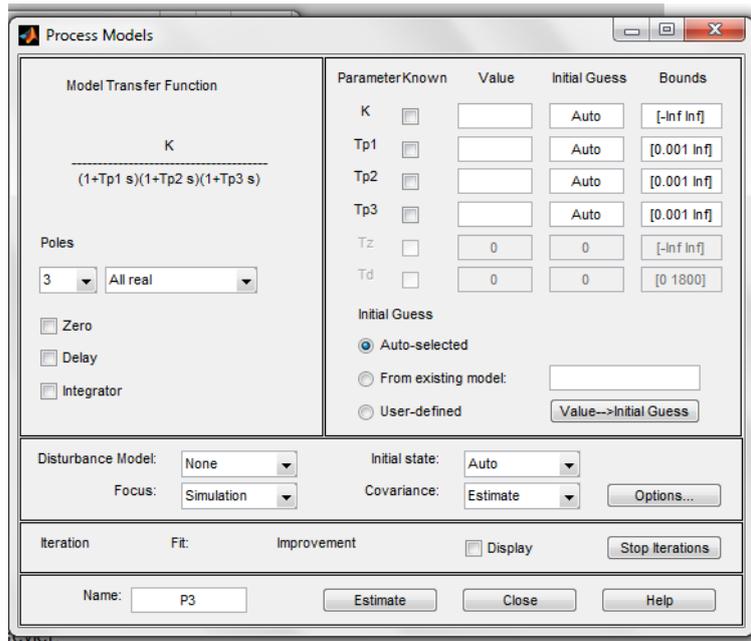


Figura 3.9 Proceso de modelado función de transferencia con tres polos

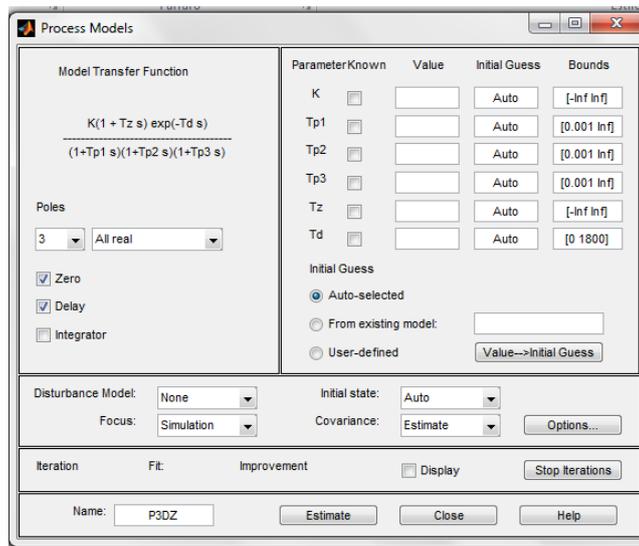
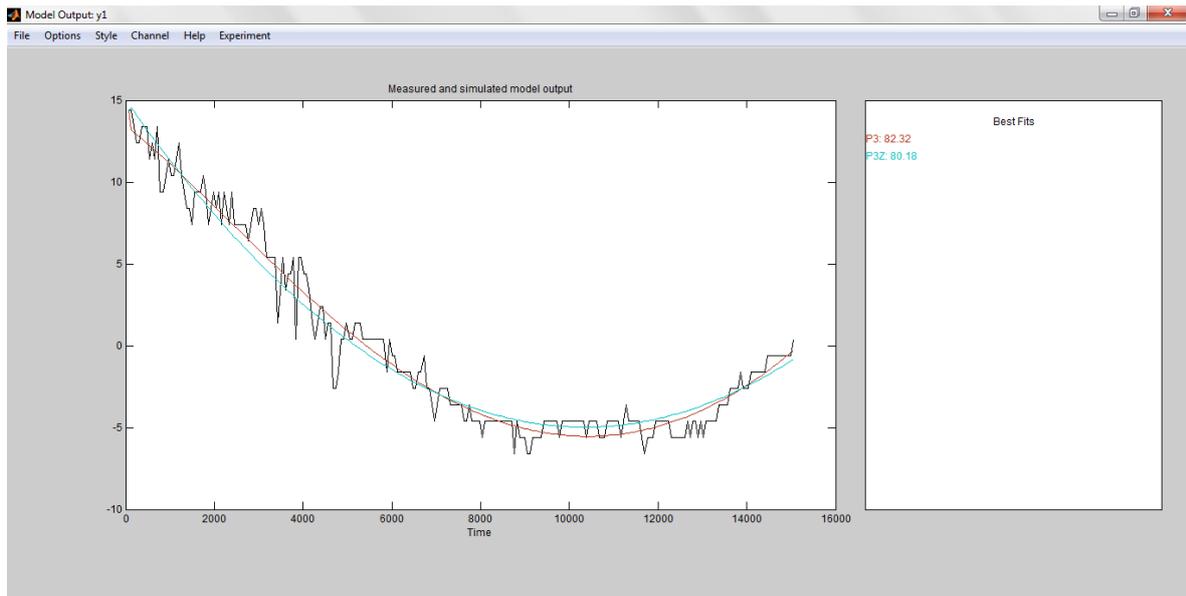
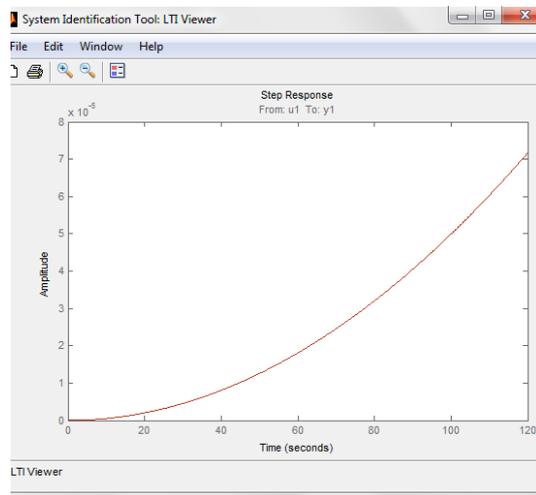


Figura 3.10 Proceso de modelado función de transferencia con tres polos y un cero

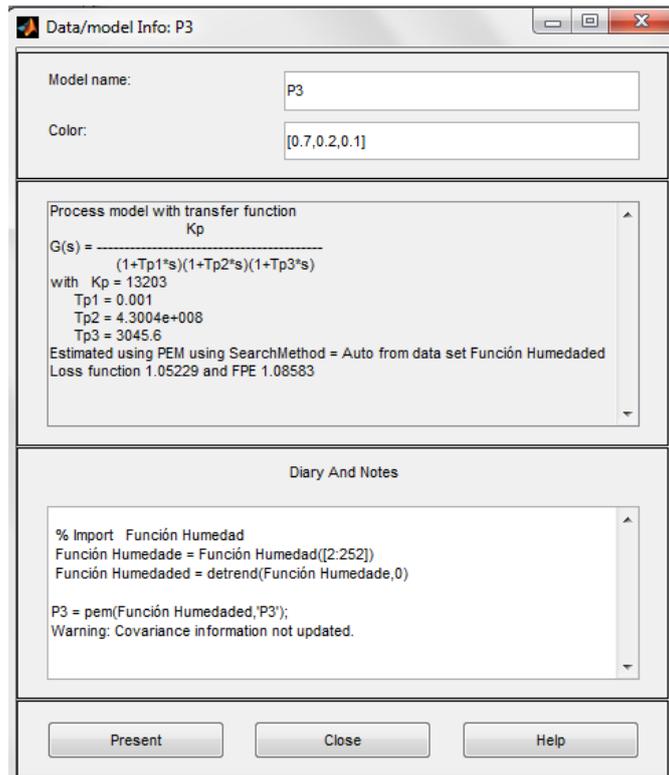


**Figura 3.11** Modelo de salida P3(3 Polos) y P3Z(3Polos y un cero)

El modelo seleccionado fue el de tres polos ya que este presenta mayor porcentaje de confiabilidad de estimación. Para determinar la respuesta del sistema con tres polos. La gráfica de la Figura 3.12 no cumple con las propiedades de linealidad e invariancia en el tiempo.



**Figura 3.12** Respuesta de del modelo con tres polos frente a una señal escalón



**Figura 3.13** Función de transferencia con 3 polos

De tal manera que ya determinado los valores y la ecuación de la Función de Transferencia, se realiza el cálculo con tres polos.

Modelo procesado con función de transferencia

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

Con  $Kp = 13203$

$Tp1 = 0.001$

$Tp2 = 4.3004e+008$

$Tp3 = 3045.6$

$$G(s) = \frac{13203}{(1 + 0.001 * s) * (1 + 4.3004e + 008 * s) * (1 + 3045.6 * s)}$$

$$G(s) = \frac{13203}{1309729824 * s^3 + \frac{1637162817553807 * s^2}{1250} + \frac{430043045601 * s}{1000} + 1}$$

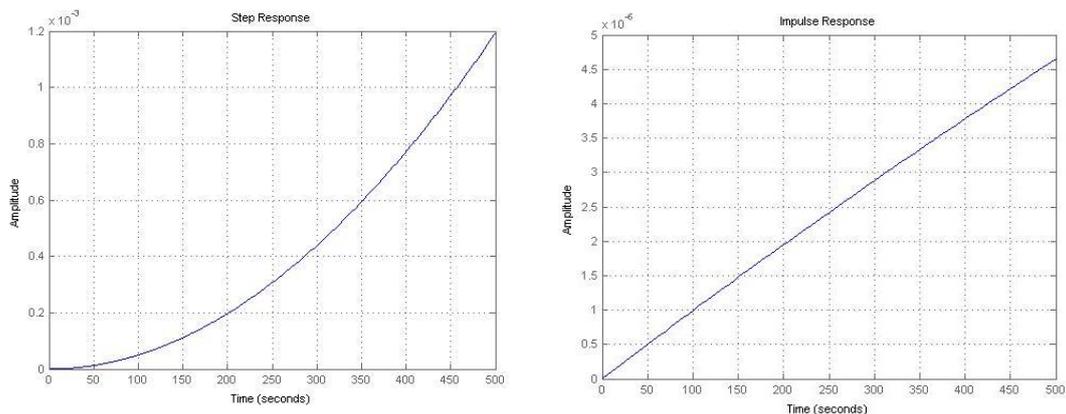
$$G(s) = \frac{13203}{1309729824 * s^3 + 1.3097e + 012 * s^2 + 4.3004e + 008 * s + 1}$$

Función de transferencia en lazo abierto

### 3.3.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El código empleado para generar las gráficas utilizadas en este análisis, se encuentra en el Anexo N.

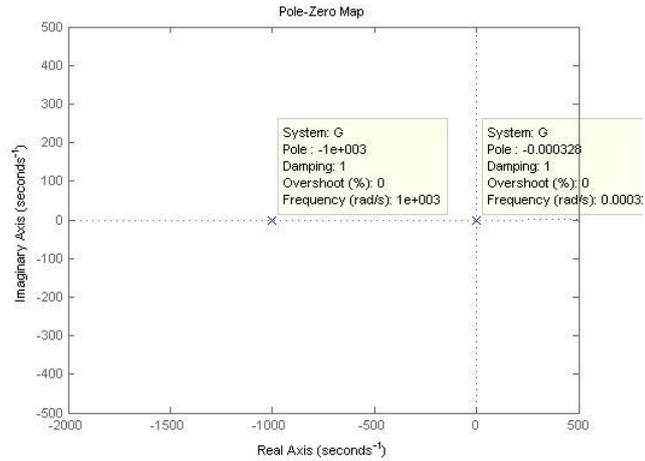
Al aplicar una señal de entrada escalón unitario a la función de transferencia en lazo abierto. La salida se incrementa y no se acota, por lo que el sistema es inestable. De la misma manera al aplicar una señal de entrada de tipo impulso a la función de transferencia en lazo abierto (Ver Figura 3.14). El sistema tiende al infinito a medida que el tiempo tiende al infinito de igual manera se comprueba que el sistema es inestable



**Figura 3.14** Respuesta escalón unitario e impulso

#### 3.3.6.1 Polos y ceros

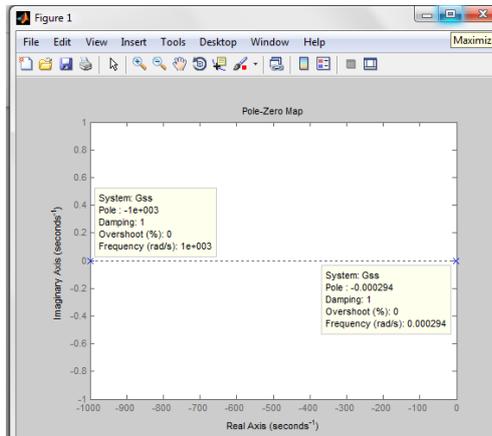
Los polos determinan la respuesta, mientras que los ceros influyen sobre la magnitud de la respuesta. La función de transferencia posee polos -999.9769; -0.0003 y -0.0000. Estos polos se encuentran ubicados en el eje real y en el lado negativo ya son de tipo (s+a). De acuerdo con la Figura 3.15 todos los polos son reales negativos por lo que el sistema es estable



**Figura 3.15** Distribución de polos del sistema G(s) en lazo abierto

Sistema en lazo cerrado

$$G(s) = \frac{13203}{1309729824 * s^3 + 1.3097e + 012 * s^2 + 4.3004e + 008 * s + 13204}$$

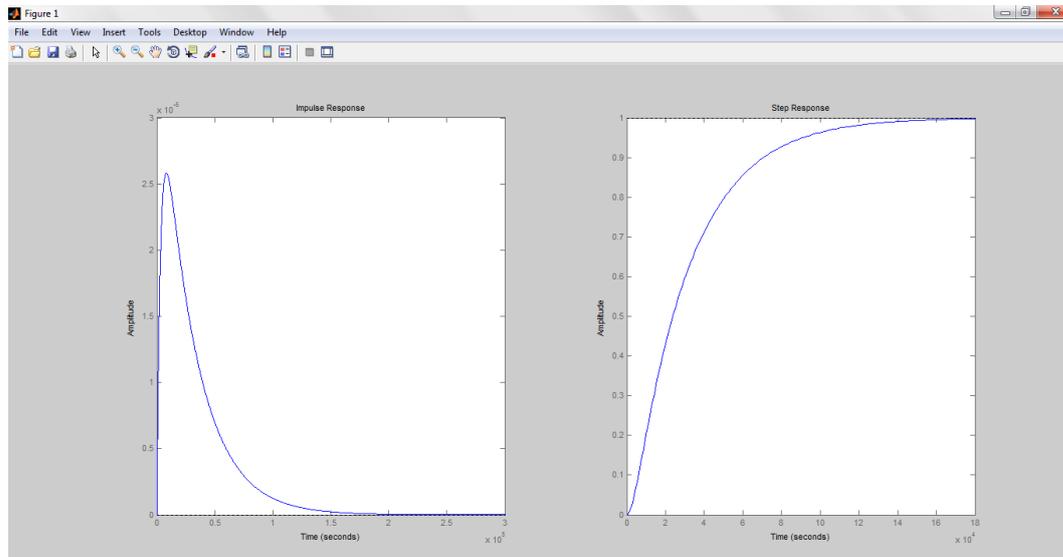


**Figura 3.16** Distribución de polos del sistema G(s) en lazo cerrado

En relación con las características obtenidas, la función de transferencia en lazo cerrado posee polos únicamente en el semiplano derecho por lo que el sistema es estable como se observa en la Figura 3.16

Al aplicar una entrada impulso al sistema retroalimentado, se obtiene una respuesta que tiende a cero a medida que el tiempo tiende al infinito, bajo estas condiciones el sistema es estable. Alternativamente al aplicar una señal de

entrada de tipo escalón al sistema, la salida es finita de igual forma se concluye que el sistema es estable (Ver Figura 3.17).



**Figura 3.17** Respuesta impulso y escalón unitario del sistema retroalimentado

### 3.3.7 COMPENSACIÓN DEL SISTEMA

El sistema se compenso mediante un controlador PID aplicando la Regla de sintonía de Ziegler-Nichols

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

**Tabla 3.1** Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica  $K_{cr}$  y periodo crítico  $P_{cr}$  (segundo método).

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
<b>P</b>	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
<b>PI</b>	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
<b>PID</b>	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Fuente: (Ogata, 1987)

Fijando  $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ , se obtiene la función de transferencia en lazo cerrado del modo siguiente:

Sea  $K = 13203K_p$

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

$$1309729824 * s^3 + 1.3097e + 012 * s^2 + 4.3004e + 008 * s + (1 + K)$$

Criterio de estabilidad de Routh:

$$1309729824 * s^3 + 1.3097e + 012 * s^2 + 4.3004e + 008 * s + 13204K_p$$

**Tabla 3.2** Vector de coeficientes

$s^3$	1309729824	4.3004e + 008
$s^2$	1.3097e+012	(1 + 13203K <sub>p</sub> )
$s^1$	$\frac{(1.3097e + 012 \times 4.3004e + 008) - 1309729824 \times (1 + 13203K_p)}{1.3097e + 012}$	
$s^0$	13204K <sub>p</sub>	

$$(1.3097e + 012 \times 4.3004e + 008) - (1309729824(1 + 13203K_p)) = 0$$

$$K_p = 32568176.88$$

$$\text{Ganancia crítica } K_{cr} = 32568176.88$$

Con la ganancia  $K_p$  fijada igual a  $K_{cr}$  ( $=32568176.88$ ), la ecuación característica es

$$1309729824 * s^3 + 1.3097e + 012 * s^2 + 4.3004e + 008 * s + 4.300 \times 10^{11}$$

Para encontrar la frecuencia de la oscilación sostenida, se sustituye  $s=jw$  en la ecuación característica, del modo siguiente:

$$1309729824 * (jw)^3 + 1.3097e + 012 * (jw)^2 + 4.3004e + 008 * (jw) + (1 + K) = 0$$

$$-1309729824 * (jw)^3 - 1.3097e + 012 * (w)^2 + 4.3004e + 008 * (jw) + (1 + K) = 0$$

Igualando la parte imaginaria

$$1309729824 * (w)^3 + 4.3004e + 008 * (w) = 0$$

$$w(-1309729824 * w^2 + 4.3004e + 008) = 0$$

$$w^2 = 0.3283$$

$$w = \pm 0.5729 \text{ rad/s}$$

Igualando la parte real

$$-1.3097e + 012 * w^2 + (1 + K) = 0$$

$$K = 1.3097e + 012 * w^2 - 1 = 4.2997x10^{11}$$

$$K = 13203K_p$$

$$K_p = \frac{4.2997x10^{11}}{13203} = 3.2566e + 007$$

Con la ganancia  $K_p$  fijada igual a  $K_{cr}(= 3.2566e + 007)$

Con  $w^2 = 0.3283$  ó  $w = \pm 0.5729 \text{ rad/s}$

$$P_{er} = \frac{2\pi}{w} = \frac{2\pi}{0.5729} = 10.96$$

Teniendo en cuenta la Tabla 3.1, se determinan  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  del modo siguiente:

$$K_p = 0.6K_{cr} = 19539600$$

$$T_i = 0.5P_{cr} = 5.48$$

$$T_d = 0.125P_{cr} = 1.37$$

## 3.4 DISEÑO DEL CONTROL DIFUSO

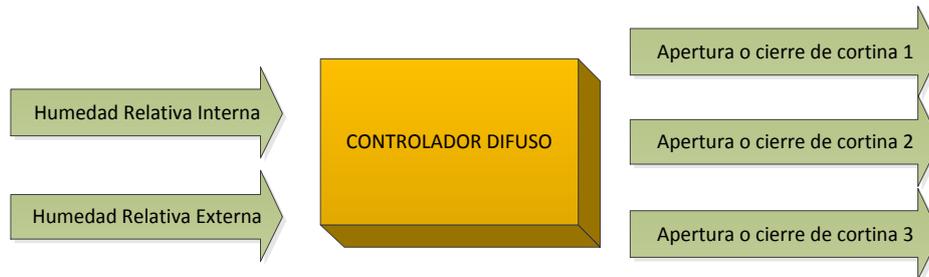
### 3.4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Para el diseño del controlador difuso se consideró principalmente, las necesidades de humedad relativa del cultivo de tomate, costos, conocimiento basado en la experiencia del operario (Ver Anexo Q), el estudio del ambiente (Ver Anexo M) también fue considerado así como el modelamiento matemático

#### 3.4.1.1 Experiencia del operador

Para poder formular las reglas de controlador difuso fue necesario también obtener información de la experiencia y conocimiento del operario del invernadero de manera especial a las tareas de apertura y cierre de las cortinas del invernadero, variables climáticas, zonas de mayor o menor humedad relativa. Para lo cual se realizó una encuesta al operario. (Ver Anexo Q)

La Figura 3.18, muestra las variables de entrada y salida 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.



**Figura 3.18** Diagrama de entradas y salidas para el control difuso en el invernadero

### 3.4.2 DEFINICIÓN DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS DEL SISTEMA

Después de haber establecido las entradas y salidas, estas fueron defusificadas para poder ser procesadas por el controlador.

Se definió el universo de discurso en el cual se establece cada una de las variables y posteriormente dividimos en conjuntos difusos caracterizados por funciones de membresía.

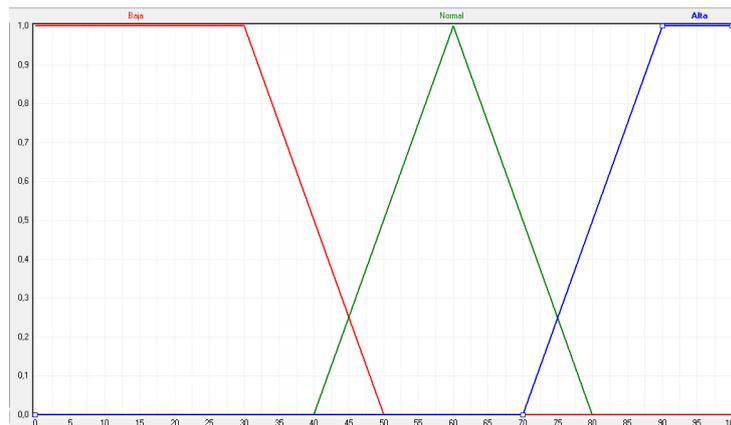
#### 3.4.2.1 Entradas

##### **Humedad relativa interna**

Para la variable lingüística “Humedad relativa interna (HRI)” se determinó un universo de discurso con un rango de 0 a 100%, esto con base en que los sensores de humedad relativa tienen un rango de medida de 20 a 95%, 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. El universo de discurso se dividió en tres conjuntos con sus respectivos rangos, como se muestra en la Tabla 3.3 y en la Figura 3.19.

**Tabla 3.3** Descripción de los conjuntos difusos de la humedad relativa interna

Nombre del conjunto difuso	Descripción	Rango
A	Humedad relativa alta	70 a 100%
N	Humedad relativa normal	40 a 80%
B	Humedad relativa baja	0 a 50%



**Figura 3.19** Función de pertenencia de la humedad relativa interna para las cortinas

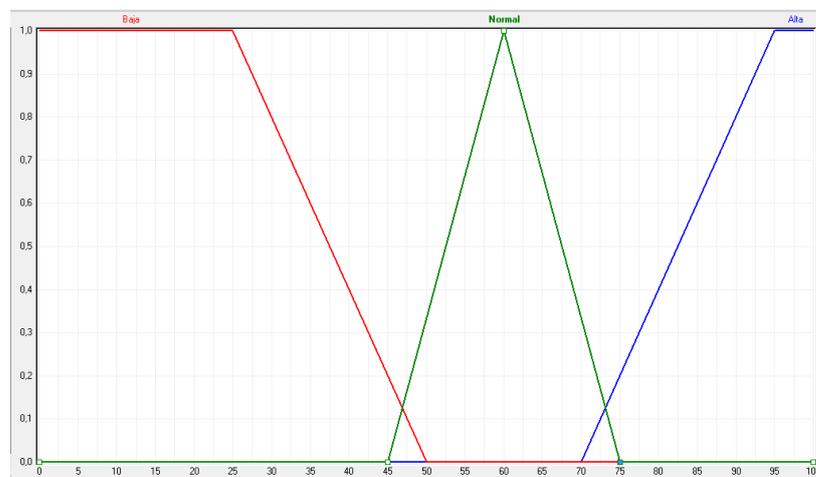
### Humedad Relativa Externa

Esta variable es importante porque influye sobre el microclima interno del invernadero y de manera especial en la humedad del ambiente interno, siendo la lluvia, vientos causantes de problemas en las plantas de tomate.

Para la variable lingüística “Humedad relativa externa (HRE)” se especificó un universo de discurso con un rango de 0 a 100%, ya que cuando llueve la humedad alcanza el 100% y en días soleados llega a valores muy cercanos a 0%. El universo de discurso se fraccionó en tres conjuntos con sus respectivos rangos, como se observa en la Tabla 3.4 y en la Figura 3.19

**Tabla 3.4** Descripción de los conjuntos difusos de la humedad relativa externa

Nombre del conjunto difuso	Descripción	Rango
A	Humedad relativa alta	70 a 100%
N	Humedad relativa normal	45 a 75%
B	Humedad relativa baja	0 a 50%



**Figura 3.20** Función de pertenencia de la humedad relativa externa para las cortinas

### 3.4.2.2 Salidas

#### Variación de la humedad relativa interna

El conjunto universo para la “Variación de la humedad relativa interna ( $\Delta HRI$ )” se consideró el porcentaje de ventilación del perímetro 12.69 % que brindan las tres cortinas laterales. Porque mediante la apertura o cierre de las cortinas el ingreso o salida de aire permite regular la humedad relativa interna.

El universo de discurso se secciono en seis conjuntos con sus respectivos rangos, como se ilustra en la Tabla 3.5. Adicionalmente el porcentaje de ventilación que cada cortina ofrece, son los siguientes Cortina uno 2.712 %, Cortina dos 3.548%, Cortina tres 6.428%

**Tabla 3.5** Descripción de los conjuntos difusos de la variación de la humedad relativa 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%

### 3.4.3 REGLAS DIFUSAS

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 3.6 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.

**Tabla 3.6** Matriz de reglas del controlador difuso de la humedad relativa

Humedad Relativa Interna(HRI)	Humedad Relativa Externa(HRE)		
	Baja(B)	Normal(N)	Alta(A)
Baja(B)	BN	BP	SP
Normal(N)	BG	BG	SN
Alta(A)	SN	SN	SG

La base de reglas realizo en formato tipo Mandani como se muestra a continuación:

Si HRI es B y HRE es B entonces  $\Delta HRI$  es BN.

Si HRI es B y HRE es N entonces  $\Delta HRI$  es BP.

Si HRI es B y HRE es A entonces  $\Delta HRI$  es SP.

Si HRI es N y HRE es B entonces  $\Delta HRI$  es BG.

Si HRI es N y HRE es N entonces  $\Delta HRI$  es BG.

Si HRI es N y HRE es A entonces  $\Delta HRI$  es SN.

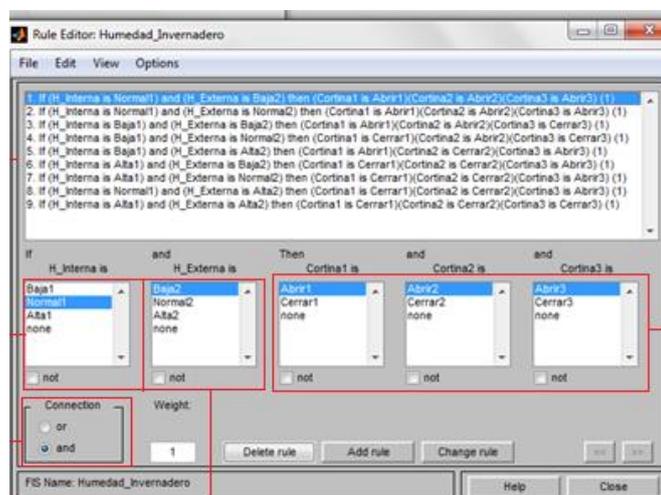
Si HRI es A y HRE es B entonces  $\Delta HRI$  es SN.

Si HRI es A y HRE es N entonces  $\Delta HRI$  es SN.

Si HRI es A y HRE es A entonces  $\Delta HRI$  es SG.

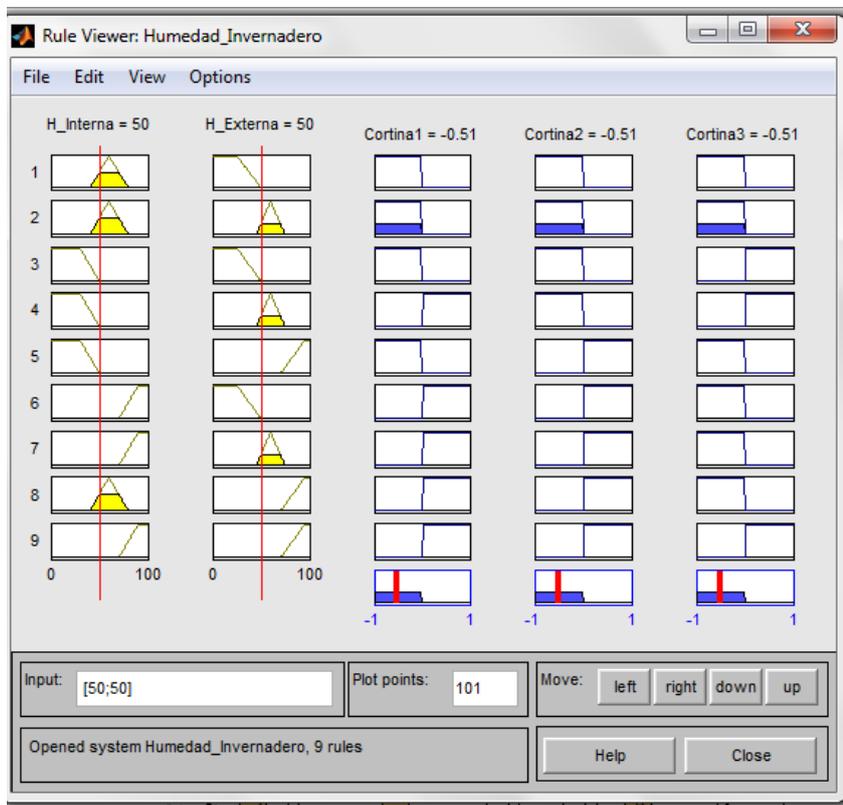
### 3.4.4 SIMULACIÓN DE LAS REGLAS DIFUSAS DEL CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA EN MATLAB

La base de reglas, el dispositivo de inferencia y el método de defusificación fueron implementadas en la herramienta fuzzy logic FIS Editor GUI (Fuzzy) de Matlab.



**Figura 3.21** Editor de reglas

En la figura 3.22 se muestra un diagrama completo del sistema de inferencia basada con las reglas introducidas and que calculara por medio de mandany, también se evalúa las entradas y las salidas cambiando los valores de pertenecía dela humedad interna y externa en 50%.

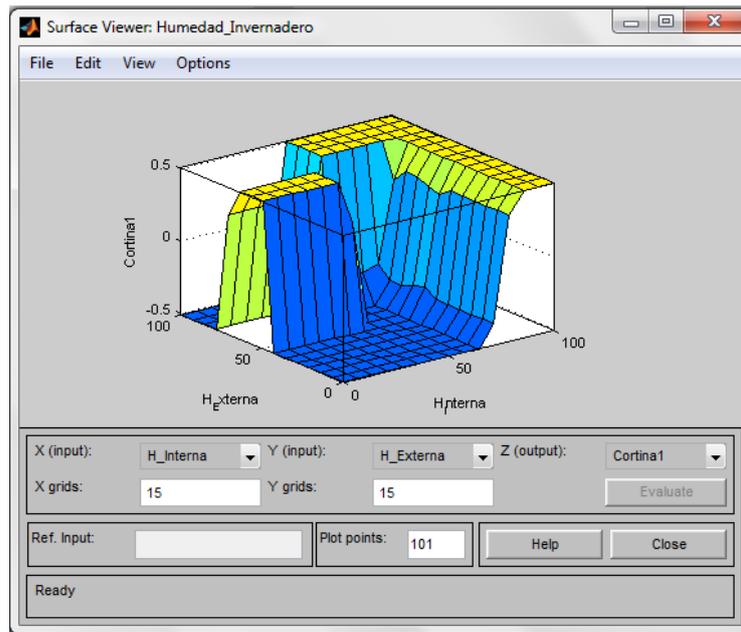


**Figura 3.22** Representación de las reglas expresadas con funciones de pertenencia

La superficie de control como resultado de la aplicación la base de reglas y todos los demás parámetros del controlador difuso, se la puede ver en la Figura 3.23, de igual manera 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.

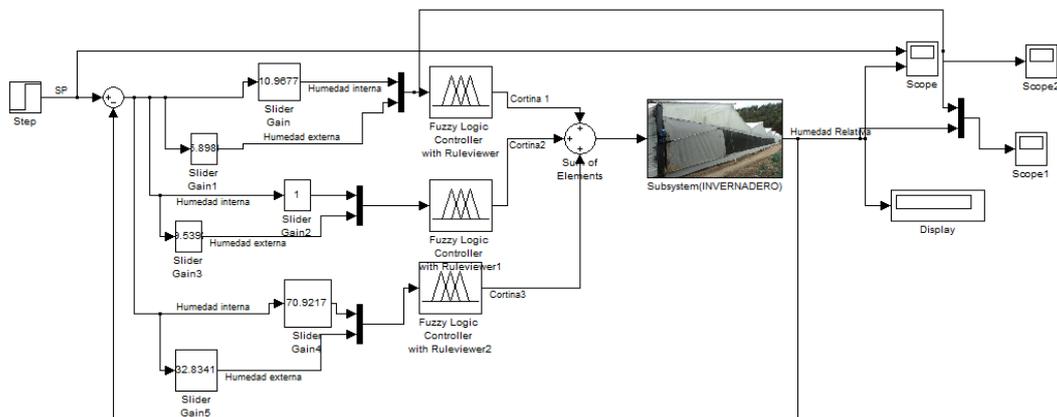
La zona amarilla presenta una humedad relativa interna muy alta lo que produce que en la salida  $cortina1=0.5$  cierre esta cortina, consecuentemente cuando la humedad interna se acerca a cero, el valor de salida  $cortina1$  disminuye, cuando las dos entradas se acercan a 0, la salida  $cortina1$ 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



**Figura 3.23** Superficie de control Humeda\_Invernadero

### 3.4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR EN SIMULINK

Para poder simular comprobar el comportamiento de la respuesta del controlador se implementó en Simulink de Matlab.

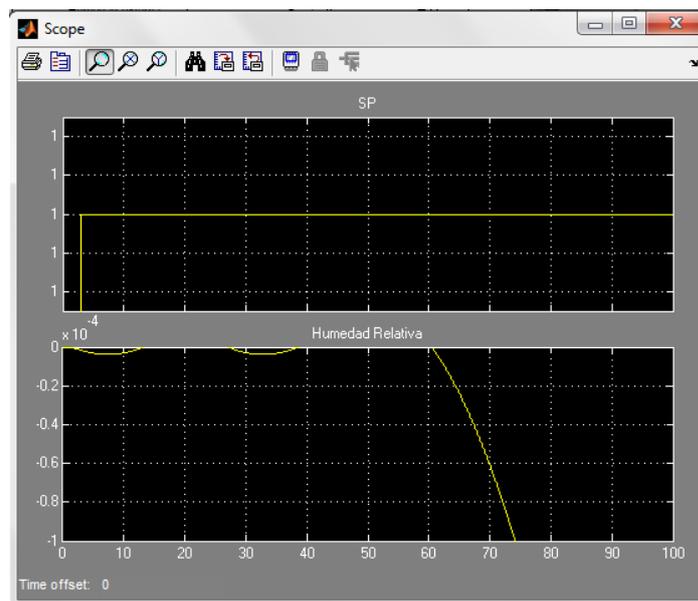


**Figura 3.24** Implementación del controlador difuso en Simulink

En la evaluación 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  $K_p, K_i, K_d$ .

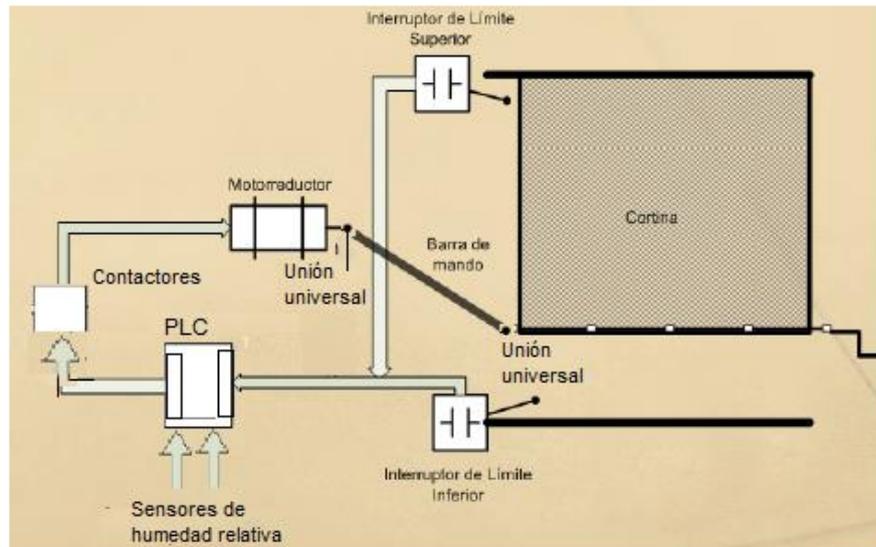
Los ajuste se ralizaron con la reglas de Ziegler-Nichols y mediante prueba y error, debido a que es muy complejo encontrar una combinacion de parametros  $K_p, K_i, K_d$  que muestren un error muy pequeño. En la Figura 3.25 se muestra la salida de controlador, misma que se caracteriza por ser una señal con oscilaciones aceptables con poca incidencia en las acciones de control.



**Figura 3.25** Salida del sistema empleado Control lógico difuso

### **3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO**

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 una estructura de control de lazo 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.



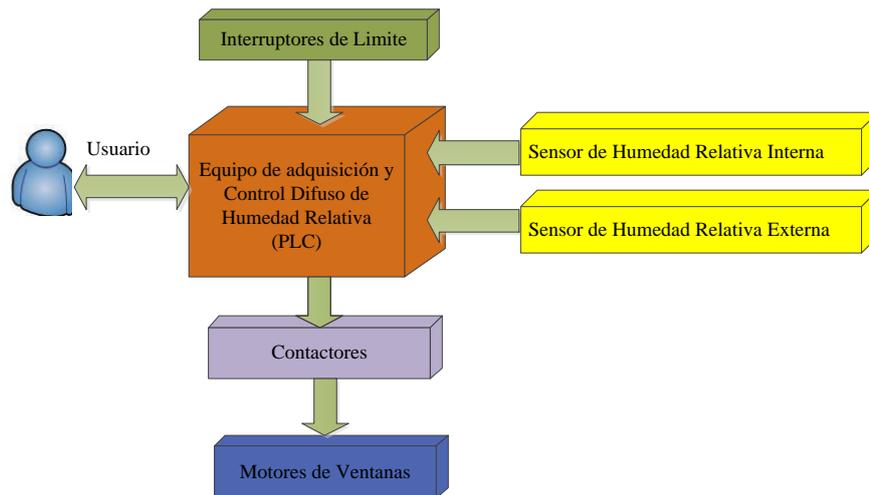
**Figura 3.26** Esquema de etapa de control, junto al sistema telescópico

### 3.5.1 CONTROL 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.

### 3.5.2 CONTROL AUTOMÁTICO (DIFUSO)

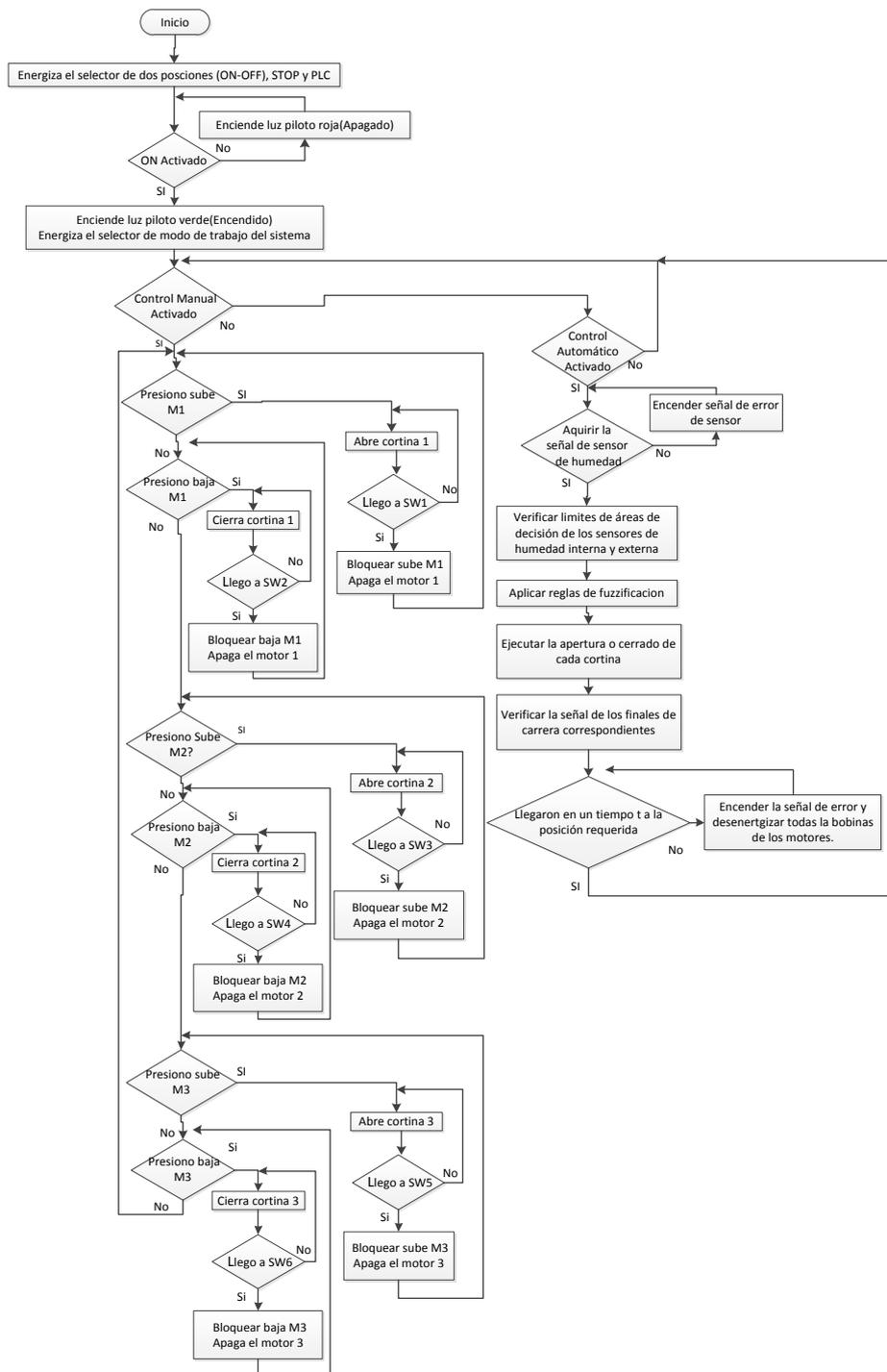
El control difuso mantiene la humedad relativa en el interior del invernadero a una consigna programada mediante una apertura inteligente de las aireaciones. La apertura o cierre inteligente de las cortinas necesarias se basa en que tan lejos está la humedad relativa interna actual de la deseada. Y de las condiciones favorables o perjudiciales de la humedad relativa externa (Figura 3.27).



**Figura 3.27** Diagrama de bloques del sistema de control difuso de la humedad relativa.

### **3.6 PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PROGRAMABLE**

El algoritmo de funcionamiento del programa se muestra en el siguiente diagrama de flujo de la Figura 3.28



**Figura 3.28** Diagrama de flujo del programa

## Inicialización del sistema

¿Modo manual o Automático?

Si es manual y Paro de emergencia desactivado:

¿Se presionó Sube M1? , ¿Off? o ¿baja M1?

¿Llego a SW1 o SW2?

Si llego a SW1 bloquear sube M1

Off des-energiza sube o baja M1

Si llego a SW2 bloquear baja M1

¿Se presionó Sube M2? , ¿Off? o ¿baja M2?

¿Llego a SW3 o SW4?

Si llego a SW3 bloquear sube M2

Off des-energiza sube o baja M2

Si llego a SW4 bloquear baja M2

¿Se presionó Sube M3? , ¿Off? o ¿baja M3?

¿Llego a SW5 o SW6?

Si llego a SW3 bloquear sube M3

Off des-energiza sube o baja M3

Si llego a SW4 bloquear baja M3

Si es automático y Para de emergencia desactivado:

Adquirir la señal de sensor de humedad

Se adquirió la señal de humedad en 1 segundo

Si no se adquirió la señal encender señal de error de sensor

Verificar límites de áreas de decisión de los sensores de humedad interna y externa

Aplicar reglas de fuzzificación

Ejecutar la apertura o cerrado de cada cortina

Verificar la señal de los finales de carrera correspondientes

¿Llegaron en un tiempo  $t$  a la posición requerida?

Si no llegó encender la señal de error y desenergizar todas las bobinas de los motores.

Caso contrario regresar a verificar el modo Manual o automático.

El algoritmo descrito fue implementado en el software LOGO!Soft Comfort V8.0, (Ver Anexo R) el mismo que se lo programo mediante lenguaje FUP, las descripción de las entrada y salidas del programa se muestran en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.7** Descripción de entradas y salidas del programa de control

DESCRIPCIÓN	TIPO	UBICACIÓN	DESIGNACIÓN
Selector de control manual o automático	Entrada Digital	LOGO!12/24RC	I3
Interruptor abrir cortina 1	Entrada Digital	LOGO!12/24RC	I4
Interruptor cerrar cortina 1	Entrada Digital	LOGO!12/24RC	I5
Interruptor abrir cortina 2	Entrada Digital	LOGO!12/24RC	I6
Interruptor abrir cortina 2	Entrada Digital	MÓDULO DM8	I1
Interruptor cerrar cortina 3	Entrada Digital	MÓDULO DM8	I2
Interruptor abrir cortina 3	Entrada Digital	MÓDULO DM8	I3
Interruptor paro de emergencia	Entrada Digital	MÓDULO DM8	I4
Sensor de humedad relativa 1	Entrada Analógica	MODULO AM2	A1
Sensor de humedad relativa 2	Entrada Analógica	MODULO AM2	A2
Giro horario motor 1	Salida Digital	LOGO!12/24RC	Q1
Giro anti horario motor 1	Salida Digital	LOGO!12/24RC	Q2
Giro horario motor 2	Salida Digital	LOGO!12/24RC	Q3
Giro anti horario motor 2	Salida Digital	LOGO!12/24RC	Q4
Giro horario motor 3	Salida Digital	MÓDULO DM8	Q1

Giro Anti horario motor 3	Salida Digital	MÓDULO DM8	Q2
Luz piloto humedad interna	Salida Digital	MÓDULO DM8	Q3
Luz piloto fallo final de carrera	Salida Digital	MÓDULO DM8	Q4

### 3.7 TABLERO DE CONTROL

Para la selección del tablero de control se consideró el ambiente interno del invernadero, en el cual será instalado, en relación con este factor el tablero seleccionado tiene un grado de protección IP54 (protección contra el polvo y proyecciones de agua) adicionalmente es de tipo cofre, cerrado con una puerta y metálico.

El tablero mide 70x50x20 cm, se selecciono es tamaño ya que posee la capacidad adecuada para montar e instalar todos las aparatos utilizados para la etapa de control, al mismo tiempo permite un desahogo en el cableado, un fácil seguimiento y localización de los conductores.

Ademas, permite al usuario seleccionar el tipo de control (Manual o Automático) y tener acceso a la información de la variable humedad relativa a través e indica las operaciones que se están ejecutando mediante indicadores luminosos de igual forma los posibles fallas que puedan presentar.

De igual manera, como parte de la instalación, se ubicó el gabinete en la entrada del invernadero dentro del cual se colocó el PLC LOGO! 12/24 RC, con los módulos de expansión de entradas y salidas digital y análogo, la fuente del PLC, dispositivos de maniobra (contactores) y protección (relés de sobrecarga) para la inversión de giro de los motor-reductores. En la parte frontal del gabinete se instalaron las luces piloto de encendido y paro de emergencia, fallo del sensor final de carrera, humedad alta, fallas térmicas de cada motor, botón de paro de

emergencia e interruptores tipo selector de dos opciones para prender y apagar el sistema y para activar el control manual o automático de manera similar para abrir, apagar, cerrar las cortinas de empleo selectores de tres opciones para cada cortina, las dimensiones y más detalles del tablero eléctrico se encuentran en el Anexo T.



a)



b)

**Figura 3.29** Sistema de control de humedad a) Fotografía frontal del gabinete, b) Fotografía del cableado interno

### **3.8 INSTALACIÓN DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS**

Una vez terminados los procesos de manufactura, taladrado, corte y soldadura para la elaboración de las juntas universales, las barras de mando y correderas, Adicionalmente se fijó una cuerda de POLI-100 en la parte superior de la cortina para adaptar y sujetar la corredera cuadrada al tubo de la cortina de la cortina, También se colocaron las bases para montaje de los motores, en las esquinas de la parte frontal y en centro de vista posterior al invernadero, adicionalmente se realizó un agujero pasante en los ejes de los motores para acoplar las juntas universales con pernos

Se procede a instalar todas las partes del sistema mecánico, inicialmente se fija el motor-reductor en limitad de la altura de la cortina con pernos y tuercas a una base inclinada de metal (Biga G), esta es soldada internamente un tubo metálico galvanizado y fundido al piso con hormigón al piso del cuarto de máquinas para evitar vibraciones mientras se encuentra en funcionamiento.



**Figura 3.30** Instalación del motor-reductor

Después de fijar el motor-reductor, se unió la primera junta universal con el eje del motor-reductor y la barra de mando, misma que fueron empernadas y ajustadas con tuercas



**Figura 3.31** Acoplamiento de Junta universal al motor-reductor y barra de mando

A continuación se unió con pernos y tuercas un extremo del tubo de la cortina con un tubo cuadrado de 1pulg x1.2mm de espesor con 50cm de longitud.



**Figura 3.32** Unión de perfil cuadrado al tubo redondo de la cortina

Luego, se colocó la segunda junta universal en el otro extremo de la barra de mando, esta segunda junta universal posee una horquilla de tubo cuadrado de  $\frac{3}{4}$  x 1,2 mm de espesor con pulg x 37cm de longitud misma que fue introducida en un colocado en el paso anterior formando de esta manera una corredera lineal con los dos tubos cuadrados. Finalmente la segunda junta universal se ató a cuerda fijada en la parte superior de la cortina misma que ayuda a soportar el peso del sistema telescópico y mantener unida a la cortina. La corredera fue lubricada con grasa para su perfecto funcionamiento. El mismo procedimiento se realizó para instalar el mecanismo en las tres cortinas.



**Figura 3.33** Instalación de la segunda junta universal

### 3.9 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Posteriormente a la instalación del mecanismo para la apertura y cierre de las cortinas, se instaló todos los componentes del sistema de control de acuerdo con el diagrama de instalación eléctrica del sistema (Ver Anexo S).

La instalación del sistema consta de los siguientes pasos:

Instalación del PLC y sus componentes.

Instalación del circuito de potencia.

Instalación de los sensores de humedad relativa

#### 3.9.1 INSTALACIÓN DEL PLC Y SUS COMPONENTES

El PLC LOGO!12/24RC, el módulo de expansión de señales digitales y analógicas DM8, AM2 y la fuente de voltaje fueron colocados en relación con el manual de instalación LOGO!(2003).

La conexión de las entradas y salidas del PLC, fue realizada conforme con la Tabla 3.2, en las cuales las entradas corresponden a los sensores análogos de humedad relativa, paro d emergencia, selector de control manual o automático selectores para la apertura y cierre de las cortinas para el control manual,

En las salidas se conectaron a los relés de interface con bobina de 24V DC mismos que protegen las salidas del PLC en caso de presentarse cortocircuitos y a su vez permiten manejar tensiones de corriente alterna.

Se estableció dos salidas digitales para la inversión de giro por motor-reductor y luces piloto para indicar la humedad relativa alta y baja y fallo de algún final de carrera.

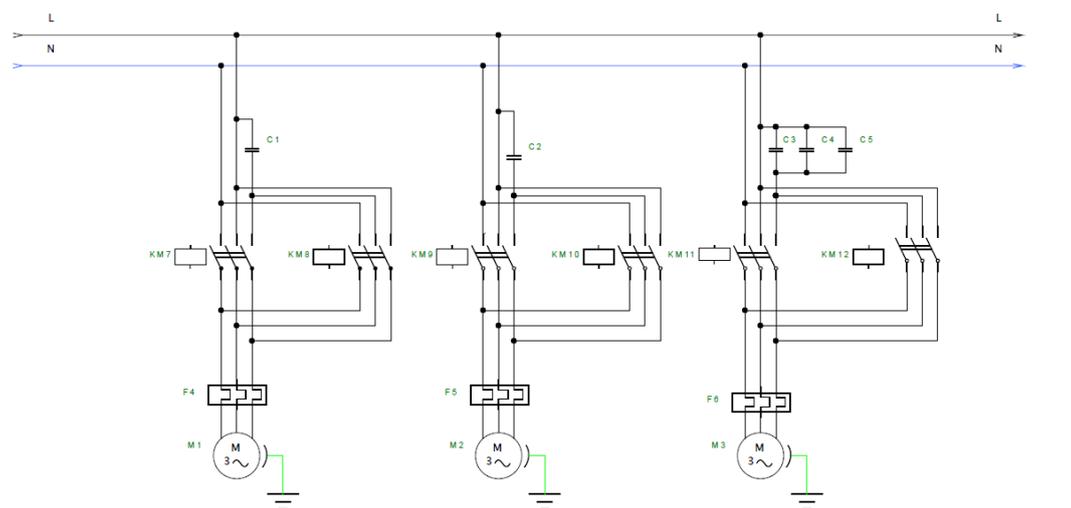


**Figura 3.34** Instalación del PLC LOGO y módulos de expansión

### 3.9.2 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA

La Figura 3.35 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 3.35** Esquema de fuerza.

Los relés térmicos y los contactores fueron conectados a través de borneras al ser de diferentes marcas comerciales y sujetos al riel DIN, los contactores fueron conectados a la red monofásica 110V mediante dos condensadores para realizar la marcha de los motor-reductores. Los calibres de los conductores para los motor-reductores y los finales de carrera fueron 16x3 AWG y 18x3 AWG respectivamente. Tal como se ilustra en la Figura 3.36



**Figura 3.36** Instalaciones los elementos de potencia

### **3.9.3 INSTALACIÓN DE SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA**

Para alimentar los sensores de humedad relativa con 5V DC se empleó un conversor de voltaje de 24V DC de la fuente LOGO a 5 V DC, Los sensores de humedad relativa interna fueron colocados a una altura de 1.20 m sobre el piso en un punto central y representativo (Figura 3.37) y otro en el exterior del invernadero junto a la puerta para evitar posibles daños por el ambiente agresivo y su acceso para su mantenimiento. Para proteger a los sensores de humedad relativas de sobrecarga de corriente se empleó un pequeño circuito con fusibles y un diodo para evitar posibles inversiones de polaridad de alimentación.



**Figura 3.37** Instalación de sensor de humedad relativa

## CAPÍTULO IV

### 4 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO DE LA HUMEDAD RELATIVA

#### 4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

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.

#### 4.2 PRUEBAS DE PARÁMETROS DE CONTROL

Las siguientes pruebas se realizaron con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de todos los elementos de mando del tablero de control. Así como también de los sensores de humedad y finales de carrera.

Una vez construido el cuadro eléctrico y antes de realizar el montaje definitivo fue necesario comprobar su funcionamiento mediante ensayos en vacío (Figura 4.1). 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 4.1** Comprobación de del sistema de control sin carga.

### 4.3 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.

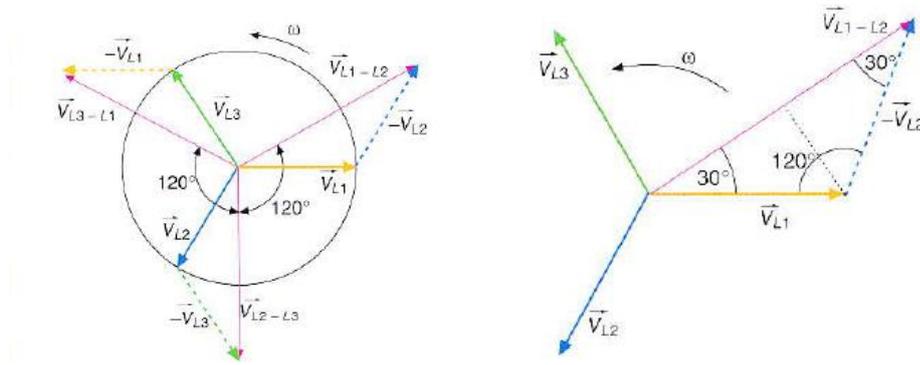


Figura 4.2 Diagrama vectorial, tensiones de línea y tensiones de fase

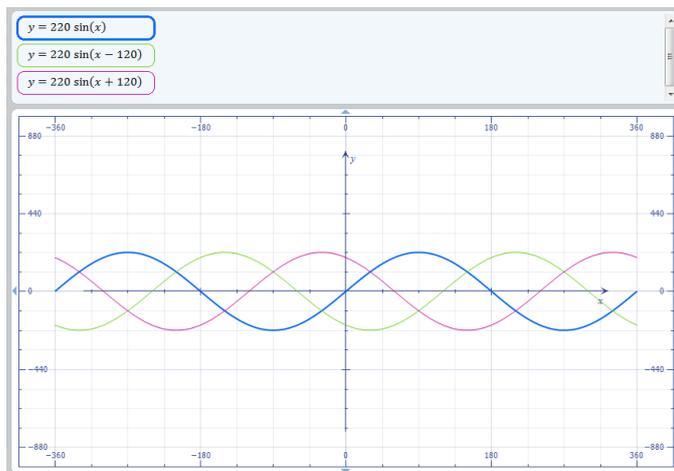


Figura 4.3 Diagrama de fases, tensiones de línea.

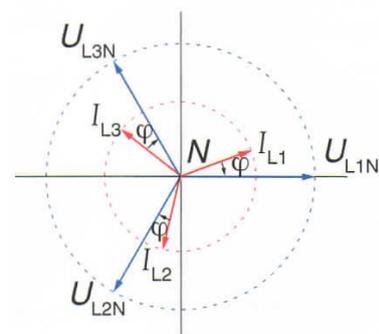


Figura 4.4 Diagrama vectorial, voltaje de fase y corriente de línea

Motor conectado a la red trifásica balanceada y en estrella

**Ecuación 4.1** Angulo característico entre cada fase

$$\gamma = \frac{2\pi}{m} = \frac{360}{m}$$

Dónde: m=Numero de fase

$$\gamma = \frac{360}{3} = 120^\circ$$

**Ecuación 4.2** Frecuencia angular

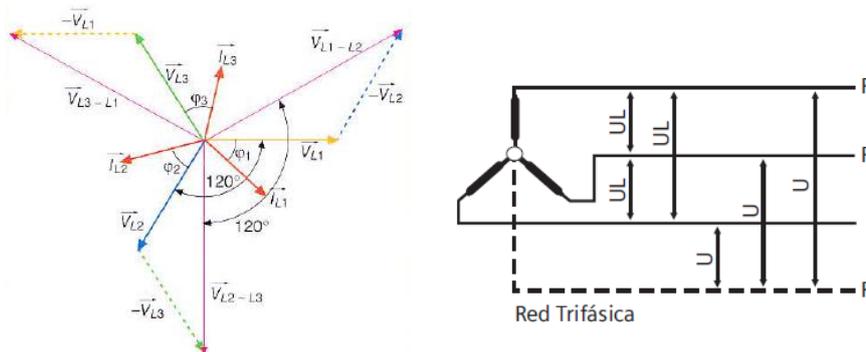
$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot \pi \cdot 60 = 120\pi$$

Voltajes de línea

$$V_{L1} = V_{máx1} \sin \omega t = 220 \sin(120\pi t)$$

$$V_{L2} = V_{máx2} \sin(\omega t - \gamma) = 220 \sin(120\pi t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$V_{L3} = V_{máx3} \sin(\omega t + \gamma) = 220 \sin(120\pi t + \frac{2}{3}\pi)$$



**Figura 4.5** Diagrama vectorial conexión en estrella, voltajes de línea y voltajes de fase

$$I_L = I_f; \quad V_L = \sqrt{3} \cdot V_f$$

Dónde:  $I_L$ =Corriente de línea  
 $I_f$ =Corriente de fase  
 $V_L$ =Voltaje de línea  
 $V_f$ =Voltaje de fase

Datos del motor

$V_L=220V$

$I_L=1.60A$

$\cos \varphi = 0.77$

### Ecuación 4.3 Potencia activa generada o consumida

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$P = (\sqrt{3})(220)(1.60)(0.77) = 469,45W; 0.469Kw$$

### Ecuación 4.4 Potencia nominal

$$P_n = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \eta \cdot \cos \varphi$$

$$P_n = (\sqrt{3})(220)(1.60)(0.66)(0.77) = 309.84W, \quad 0,309Kw$$

### Ecuación 4.5 Potencia aparente

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

$$S = (\sqrt{3})(220)(1.60) = 609.68KVA$$

### Ecuación 4.6 Potencia reactiva

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = 0.77; \quad \varphi = \cos^{-1} 0.77 = 39,64^\circ; \quad \sin 39,64^\circ = 0.637$$

$$Q = (\sqrt{3})(220)(1.60)(0.637) = 388.95var$$

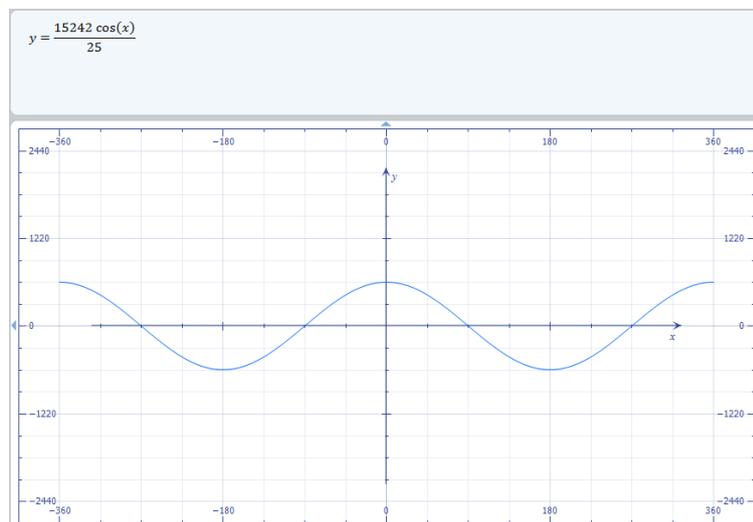


Figura 4.6 Potencia activa motor trifásico conectado a una red trifásica

Voltajes de línea

$$V_{L1} = V_{máx1} \sin wt = 110 \sin(wt)$$

$$V_{L2} = V_{máx2} \sin(wt - \theta) = 110 \sin(wt - \frac{\pi}{2})$$

$$V_{L3} = V_{m\acute{a}x3} \sin(\omega t + \theta) = 110 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$P = (\sqrt{3})(110)(1.60)(0.77) = 469,45Kw$$

Por otra parte la eficiencia  $\eta$  de motor es 66% según las especificaciones técnicas del fabricante (Anexo B).

### Ecuación 4.7 Factor de potencia

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Conexión del motor a la red monofásica

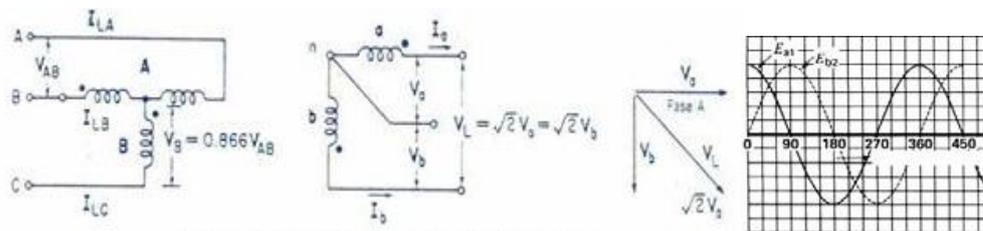


Figura 4.7 Transformación de una red trifásica a una red monofásica

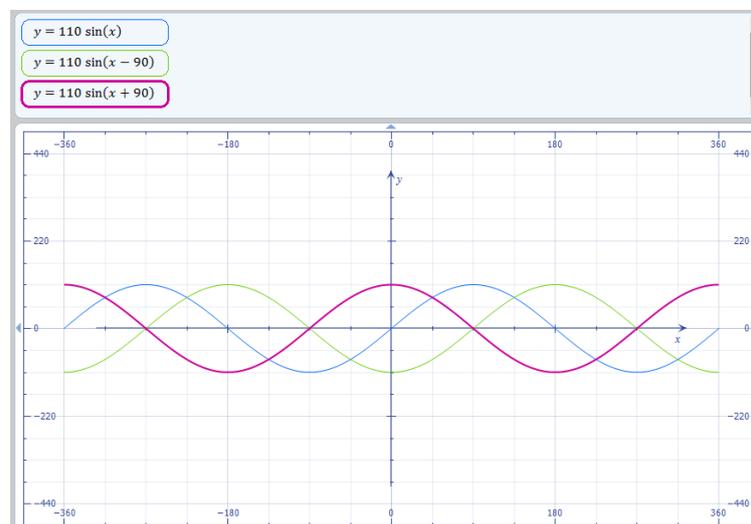
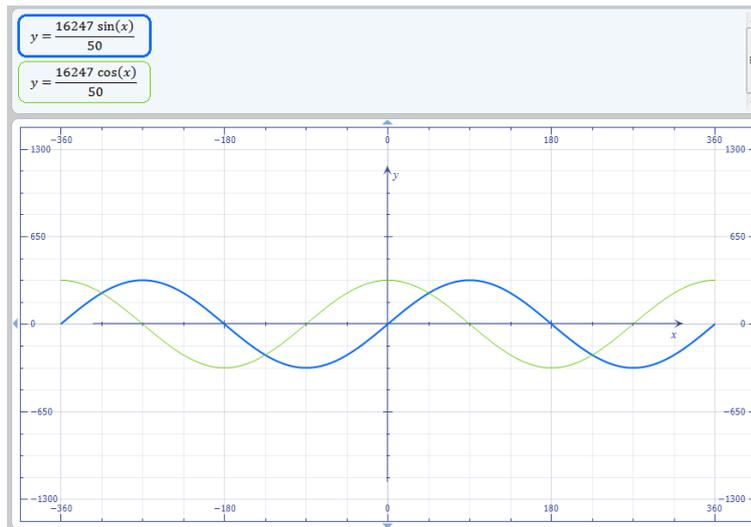


Figura 4.8 Voltajes de línea

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3}(110)(1.8) \cos \varphi$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L = (\sqrt{3})(110)(1.80) = 342.94KVA$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi = (\sqrt{3})(110)(1.80) \sin \varphi = 342.94 \sin \varphi$$



**Figura 4.9** Potencia activa y reactiva motor trifásico conectado a una red monofásica

Potencia del Motor conectado a red trifásica

$$P_n = 0,309Kw; \quad T_n = 1.74Nm; \quad \eta = 66\% = 0.66$$

Potencia del Motor conectado a red monofásica

$$P_n = 0.174Kw$$

$$0,309Kw \rightarrow 100\%$$

$$0.174Kw \rightarrow x$$

$$x = \frac{(0.174Kw)(100\%)}{0,309Kw} = 56,30\%$$

$$T_n = \frac{P_n}{\omega} = \frac{P_n}{\frac{2\pi}{60} \cdot n_n} = \frac{174.28}{\frac{2\pi}{60} \cdot 1640} = 1.014Nm$$

$$1.74Nm \rightarrow 100\%$$

$$1.014Nm \rightarrow x$$

$$x = \frac{(1.014Nm)(100\%)}{1,74Nm} = 58,27\%$$

Potencia suministrada al motor por la red monofásica

$$P = V \cdot I = 110 \times 1.8 = 198W$$

$$Eficiencia = \eta[\%] = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} \times 100\%$$

$$Eficiencia = \eta[\%] = \frac{0.174Kw}{198} \times 100\% = 0.0878$$

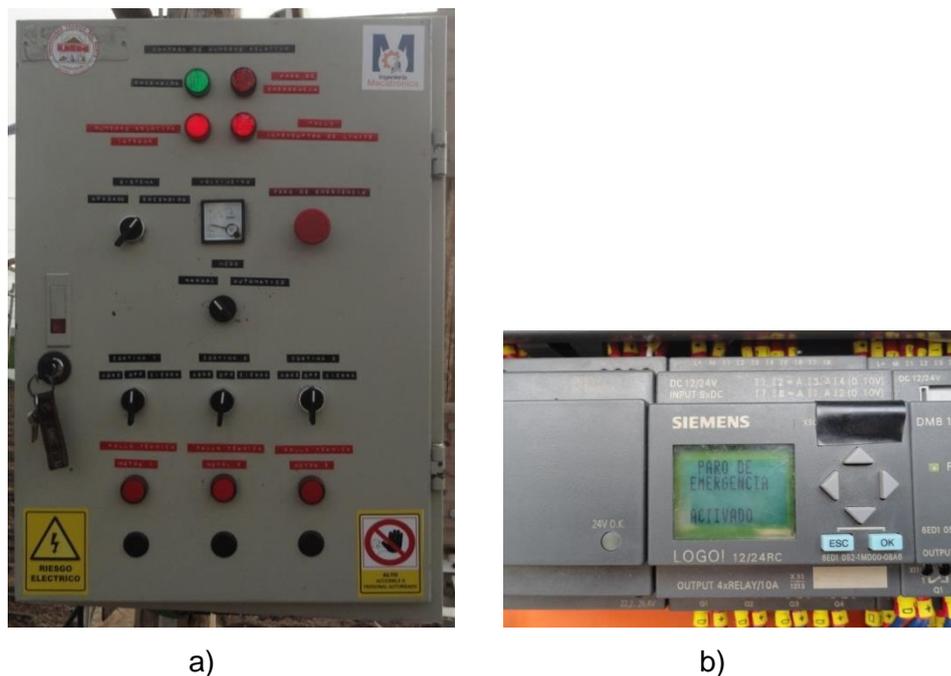
$$0.66 \rightarrow 100\%$$

$$0.0878 \rightarrow x$$

$$x = \frac{(0.0878)(100\%)}{0.66} = 13.30\%$$

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la conexión de los motores trifásicos a una red monofásica 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.

Adicionalmente, permitió determinar la forma de posición y ubicación de los motor-reductores mediante el sentido de giro de los motor-reductores, para poder abrir y cerrar las cortinas correctamente, también se pudo localizar y reparar las averías. Luego de conectar todas las líneas al cuadro eléctrico realizo la puesta en marcha de los motores con cargas reales (ensayos con carga) acoplando el mecanismo de apertura y cierre de las cortinas a los motor-reductores correspondientes, también se verifico el funcionamiento de las luces piloto de encendido y de paro de emergencia (Figura 4.2).



**Figura 4.10** Sistema de control a) Luz piloto encendido b) Mensaje en PLC Paro de emergencia activado

En siguiente lugar, se comprobó el funcionamiento del control manual ubicando el botón selector de dos posiciones en manual, después se probó la apertura de una de las cortinas con la posición abrir, posteriormente apagando con la posición off y finalmente

cerrando mediante la selección cerrar es proceso se realizó con cada selector, posteriormente se verifico la apertura o cierre de varias cortinas al mismo tiempo (Figura 4.3).



a)



b)

**Figura 4.11** Control manual a) Girando el selector de tres posiciones b) Apertura de la cortina

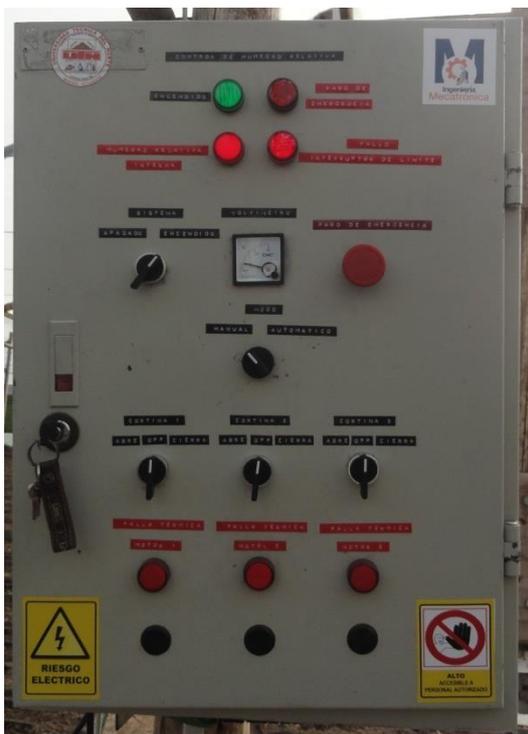
La apertura o cierre se realiza con un selector de tres posiciones de la cortina correspondiente, una vez que la cortina llega a la posición de apertura o cierre total, los finales de carrera bloquean a la opción del selector (Ver Figura 4.4)



**Figura 4.12** Interruptores de posición

De manera similar se comprobó el funcionamiento del sistema de control en modo automático. Posicionando en automático el botón selector de dos posiciones. Para constatar que las medidas de la humedad relativa proporcionadas por los sensores de humedad relativa sean reales se compararon con las medidas de un termo higrómetro digital. Las funciones de este modo de control se verificaron con los conjuntos difusos de la humedad interna y externa ingresados, definidos en programa conjuntamente con las reglas difusas esta tarea se realizó inicialmente forzando a los sensores a cambiar de valor de humedad y observando las acciones de control programadas, también se verifico durante el transcurso de varios días con cambios reales del clima interno y externo del invernadero.

Para finalizar se verifico el correcto funcionamiento de la luz piloto falla del interruptor de límite, de igual manera la de humedad relativa interna y las lámparas indicadoras de fallas térmicas. (Figura 4.5 a).



a)



b)

**Figura 4.13** a) Luces piloto encendido (verde), humedad relativa interna (roja izquierda), falla interruptor de limite (roja derecha) b) PLC indicando valores de la humedad interna y externa en modo automático.

## 4.4 AJUSTE DEL SISTEMA

### 4.4.1 AJUSTES EN LA INSTALACIÓN MECÁNICA

- Se cambió las barras de los brazos telescópicos debido al exceso de peso ejercido en la unión de la segunda junta universal y también debido al material de estas se decidió cambiarlas por unos tubos más ligeros.



**Figura 4.14** Barras de mecanismo de las cortinas

- En el sistema mecánico telescópico se pudo apreciar que en la corredera se trababa debido a la alta fricción con la segunda junta universal por lo que se tuvo que lubricar internamente con grasa.
- Se cambió de ubicación algunos interruptores de posición debido a que la cortina no realizaba contacto con estos correctamente (Figura 4.7).



#### **Figura 4.15** Reubicación de los interruptores de límite

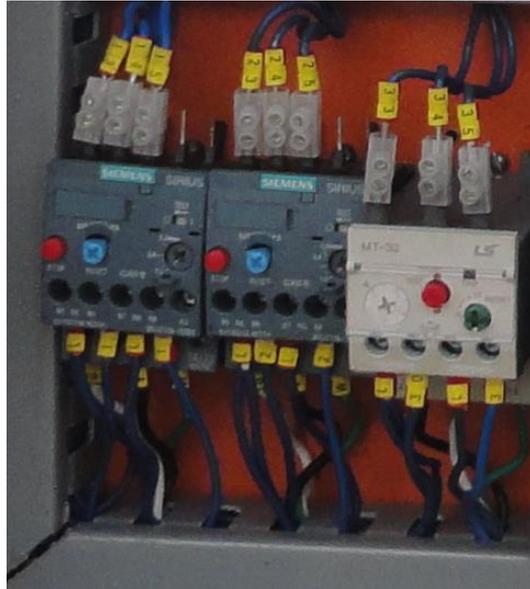
- En vista de la exposición de los motor-reductores al ambiente agresivo y con el fin de alargar la vida y mantenerlos en un buen estado, se elaboró una caja metálica de protección para cada motor (Figura 4.8)



**Figura 4.16** Caja metálica de protección del motor-reductor

#### **4.4.2 AJUSTES EN LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CONTROL**

- Se calibró el amperaje de trabajo de los relés térmicos de protección de los motor-reductores. Estos fueron regulados en relación con la corriente nominal de cada motor-reductor y fueron fijados en el valor más bajo de trabajo década uno de estos. Como se observa en la Figura 4.9.



**Figura 4.17** Calibración de los relés térmicos

- Se redefinió los tiempos de retardo a la conexión en el modo automático, esto como una medida de seguridad tras fallar o no detectar los interruptores de limite

## **4.5 COSTOS**

Los costos son la herramienta básica para la asignación de los recursos a la producción de un bien o la prestación de un servicio. (Altahona Quijano, 2009) La descripción detallada de los costos permite conocer la cantidad invertida para la elaboración del proyecto de esta manera poder determinar la factibilidad de implementación del sistema de control difuso de la humedad relativa.

De acuerdo como se asignan al producto, los elementos del costo pueden clasificarse en directos e indirectos.

### **4.5.1 COSTOS DIRECTOS**

Son aquellos que intervienen directamente en la ejecución del proyecto, y se caracterizan por su fácil cuantificación (Altahona Quijano, 2009). Los costos directos identificados en el proyecto y considerados fueron los materiales empleados para la elaboración del mecanismo de apertura y cierre de las

cortinas, elementos del tablero de control, cableado de la instalación y la mano de obra

En la Tabla 4.1 se detalla los costos de materiales empleados para la elaboración del mecanismo de las cortinas.

**Tabla 4.1** Costos de materiales de mecanismo de las cortinas

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.	P. UNITARIO. (USD)	SUBTOTAL (USD)
Correa G 150x50x20mm 6m de longitud	2	20,00	40,00
Juntas universales	8	20,00	160,00
Tubo galvanizado/redondo de 1" x2mm 6m de longitud	5	8.20	65,60
Tubo cuadrado 1"x1.5mm 3m de longitud	1	7,00	7,00
Tubo cuadrado ¾"x1.5mm 3m de longitud	1	6,00	6,00
POLI-100 150m	1	26,00	26,00
Pernos ¼ x1 ¼	12		5,00
Pernos 1/4x1 ½	10		
Tuercas	22		
Otros			20,00
		TOTAL	329,6

**Tabla 4.2** Costos de materiales de instalaciones eléctricas y control

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD.	P. UNITARIO. (USD)	SUBTOTAL (USD)
PLC LOGO! 12/24 RC	1	170	170
Fuente LOGO Power 24V DC	1	120	120
Módulo DM8	1	102	102
Módulo AM2	1	100	100
Contactador 9A 2HP 110 V	6	15	90
Relé térmico siemens	2	46	92
Relé siemens	4	10	40
Base relé 11 pines	4	9	36
Final de carrera	6	11	66
Sensores de humedad relativa AMT10001	2	130	260

Botón Paro de emergencia	1	7	7
Luz piloto	4	11,5	46
Selector de 3pos	3	5	15
Selector de 2pos	2	4	8
Alambre flexible #18	2	21	42
Terminales	150	0,12	18
Libretin de marcas	1	18	18
Conectores ter	4	1,5	6
Braker	1	6	6
Circuito Step Down	1	40	40
Enchufe	1	1	1
Tape	0,5	0,5	0,5
Marcas externas	16	1,5	16
Agujeros caja	13	0,5	6,5
Tornillos	12	0,2	2,4
Gabinete 70x50x20 cm	1	70	70
Riel DIN +Cable blanco		45	45
Rollo cable flexible #16 THHN 600V 90C	1	90	90
Rollo cable flexible #18 THHN 600V 90C	1	60	60
Motor-reductores Siemens 0.40 HP	2	150	300
Motor-reductor 0.30HP	1	150	150
		TOTAL	2023,4

(Continuación Tabla4.2)

**Tabla 4.3** Costos de mano de obra

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO. (USD)	SUBTOTAL (USD)
Instalación de soportes para los motor-reductores	2	20,00	40,00
Corte y perforación de agujeros elementos del mecanismo de cortinas	2	12,00	24,00
Instalación del sistema mecánico	3	12,00	36,00
Instalación eléctrica y control	3	12,00	36,00
		TOTAL	136,00

**Tabla 4.4** Costos de materiales varios

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor/u (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Frasco de pintura color negro	1	5,00	5,00
Frasco de pintura color plomo	1	5,00	5,00
Brocas	6	2,00	12,00
Discos de corte	2	2,00	4,00
Tuercas con pernos	16	0.15	2,40
		<b>TOTAL</b>	<b>28,4</b>

#### 4.5.2 COSTOS INDIRECTOS

Son aquellos que no intervienen en el proceso de producción o del servicio, pero son necesarios para para su elaboración. (Altahona Quijano, 2009)

**Tabla 4.5** Costos indirectos de la instalación del sistema

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad/Mes</b>	<b>Valor/U (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Energía eléctrica	4	7,00	28,00
Agua	1	3,00	3,00
Teléfono	6	3,00	18,00
Asesoría técnica	1	30,00	30,00
		<b>TOTAL</b>	<b>79,00</b>

#### 4.5.3 COSTO TOTAL

Los costos incurridos en un periodo sobre los costos directos e indirectos conforman el costo total. En la Tabla 4.7, se presenta el total de costos directos que intervinieron en la instalación del sistema y la Tabla 4,7 visualiza el costo total del proyecto ya implementado.

**Tabla 4.6** Costo directo total

<b>Detalle</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos de materiales de mecanismo de las cortinas	329,6
Costos de materiales de instalaciones eléctricas y control	2023,4
Costos de mano de obra	136,00
Costos de materiales varios	28,4
<b>TOTAL</b>	<b>2517,4</b>

**Tabla 4.7** Costo total del proyecto

<b>Detalle</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costo directo del proyecto	2517,4
Costo indirecto del proyecto	79,00
<b>TOTAL</b>	<b>2596,4</b>

## **4.6 ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO**

El presente análisis se realiza con la finalidad de conocer la viabilidad del proyecto, determinar el costo de implementación sobre los beneficios que brinda el proyecto ya instalado. Previo a este análisis se efectúa un estudio de los costos de producción antes y después; que el sistema ingrese en funcionamiento.

### **4.6.1 COSTO DE PRODUCCIÓN SIN CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA**

**Tabla 4.8** Costo de producción sin sistema de control de la humedad

<b>Costos de Producción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor/u (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Plantas de tomate	5300	0.11	583,00
Gastos por agua de riego	9	10,00	90,00
Energía eléctrica	3	15,00	45,00
Mano de obra	3	390,00	1170,00
Insumos agrícolas (Sacos de abono orgánico)	250	2,00	500
Fungicidas	5	100	500,00
Abonos de desarrollo (Costales)	10	40,00	400,00
Mantenimiento	3	11,67	35,00
Perdidas por efectos de la humedad y manipulación	300	7,00	2100
		<b>TOTAL:</b>	<b>5423,00</b>

Los costos detallados en la Tabla 4.8 representan los valores promedios invertidos mensualmente. La cosecha se realiza cada semestre, misma que no es constante ya que existe una alta y baja producción. En la Tabla 4.9 se muestra los ingresos, el precio unitario en cajas y el total de ingresos mensuales.

**Tabla 4.9** Utilidades por cosecha sin sistema de control de la humedad

<b>Tiempo</b>	<b>Precio/Cajas (USD)</b>	<b>Producción (Cajas)</b>	<b>Subtotal/(3 meses) (USD)</b>	<b>Costo de producción (USD)</b>	<b>Utilidad (USD)</b>
1 año	7,00	1300	9100,00	5423,00	3677,00

#### 4.6.2 COSTO DE PRODUCCIÓN CON EL SISTEMA DE CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA

**Tabla 4.10** Costo de producción con el sistema de control de la humedad

<b>Costos de Producción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor/u (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Plantas de tomate	3	390,00	1170,00
Gastos por agua de riego	9	10,00	90,00
Energía eléctrica	3	20,00	60,00
Mano de obra	3	390,00	1170,00
Insumos agrícolas (Sacos de abono orgánico)	250	2,00	500
Fungicidas	5	100	500,00
Abonos de desarrollo (Costales)	10	40,00	400,00
Mantenimiento	3	11,67	35,00
Perdidas por efectos de la humedad y manipulación	200	7,00	1400,00
Costo depreciación de equipo (20%)	1	103,00	103,00
		<b>TOTAL:</b>	4841,00

La Tabla 4.10 muestra los costos que interviene en la producción de tomate bajo invernadero, con el sistema de control de la humedad relativa ya en funcionamiento, cabe señalar que en estos costos se reduce la mano de obra y algunos insumos agrícolas.

Para determinar los valores de la utilidad con el sistema ya implementado se considera la producción del año 2015 debido a que el sistema entra en funcionamiento en el mes de agosto y el análisis lo realiza en febrero del 2016

En la Tabla 4.1 se describe las utilidades que se pretende obtener en el año 2016. Los valores estimados en la tabla mencionada fueron considerados de acuerdo con mejoras que ofrece el sistema ya implementado tanto en la calidad como en la cantidad de productos

**Tabla 4.11** Utilidades por cosecha con el sistema de control de la humedad

<b>Tiempo</b>	<b>Precio/Cajas (USD)</b>	<b>Producción (Cajas)</b>	<b>Subtotal/(3 meses) (USD)</b>	<b>Costo de producción (USD)</b>	<b>Utilidad (USD)</b>
1 Año	7,00	1400	9800,00	4841,00	4959,00

#### **4.6.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

El tiempo de recuperación, permite determinar la fase en que el proyecto recobrar los costos invertidos en la instalación del sistema.

**Tabla 4.12** Ganancia neta

<b>Detalle</b>	<b>Ganancia neta (Cosecha 3 meses) (USD)</b>
Producción sin sistema de control de la humedad	3677,00
Producción con el sistema de control de la humedad	4959,00
<b>Ganancia adicional</b>	<b>1282,00</b>

De acuerdo con la Tabla 4.11 las utilidades netas por cosecha cada 6 meses son de 1282,00 dólares más que la producción sin el sistema de control de la humedad relativa. De esta utilidad se tiene que el beneficio promedio neto por cada mes es de 106.83 dólares

Seguidamente se realiza el cálculo del periodo de recuperación, con la utilidad neta de ganancia y con la diferencia de ganancia que trae el proyecto ya instalado.

➤ Periodo de recuperación con la ganancia neta

Debido a que la ganancia neta es de 4959,00, se posee un promedio mensual de 413.25 dólares

**Tabla 4.13** Periodo de recuperación con base en la ganancia neta

\$413.25 Ganancia	1 meses
\$2596,4 Costo de instalación del proyecto	6.28 meses
<b>Tiempo de recuperación de la inversión= 6 meses</b>	

Según la Tabla 4.13 la inversión del proyecto se recuperara en 6 meses aproximadamente. Este tiempo es considerado muy bueno para la recuperación teniendo presente que el cultivo de tomate bajo invernadero es artesanal.

➤ La ganancia adicional promedio mensual es de 106.83 dólares, se determina el periodo de recuperación con respecto al ingreso adicional, aplicando una regla de tres

**Tabla 4.14** Periodo de recuperación con base en la ganancia adicional

\$ 106.83 Ingreso adicional	1 Mes
\$2596,4 Costo de instalación del proyecto	24,39 Meses
<b>Tiempo de recuperación de la inversión= 24 meses</b>	

Conforme a la Tabla 4.14 únicamente con el ingreso adicional, la recuperación de la inversión del proyecto se obtendrá en 24 meses aproximadamente. Este periodo de recuperación es aceptable, ya que el invernadero se encuentra en un proceso de reparación de la estructura y cambio de plástico con el fin reiniciar el ciclo de vida de un invernadero un invernadero mismo que puede soportar 5 años de producción agrícola aproximadamente.

#### 4.6.4 RAZÓN COSTO BENEFICIO

Para el siguiente cálculo se considera el año 2015 en el que inicia el funcionamiento del sistema implementado y los beneficios obtenidos en este.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} > 1 (\text{Proyecto aceptable})$$

$$\frac{4959,00}{2596,4} = 1.90 > 1$$

Debido a que la razón beneficio –costo es mayor a la unidad, el proyecto es aceptable, lo cual indica que el beneficio es de \$1.90 por cada dólar invertido. Este resultado demuestra que el cultivo de tomate bajo invernadero puede invertir en sistemas de control de variables climáticas, como es el de la humedad relativa, ya que estos permiten aumentar la producción, rendimiento y calidad, también permiten anticipar cambios en el clima y prevenir daños. Finalmente generar mayores ganancias para el agricultor.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 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 facilito la apertura o cierre de las cortinas de forma automática.

## 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, CO<sub>2</sub>, 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Castañeda Miranda, R., Ventura Ramos, E. J., Peniche Vera, R., & Herrera Ruiz, G. (2007). Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia*, 41(3), 317-335.
- Castañeda, R., Herrera, G. R., & García Escalante, J. J. (2003). Modelación Física de un Invernadero para el Desarrollo de un Sistema de Control Climático. *Naturaleza y desarrollo*, 1(2), 16-24.
- Ibrahim, A. M. (2004). *Fuzzy logic for embedded systems applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Kovacic, Z., & Bogdan, S. (2006). *Fuzzy controller design theory and applications*. London: Taylor & Francis Group.
- Kuo, B. (s.f.). *Sistemas de control automático* (7ma ed.). México: Prentice-Hall.
- Leal Iga, J., Alcorta García, E., & Rodríguez Fuentes, H. (2006). Modelado del clima en invernaderos: Respuesta de la temperatura a cambios de humedad. *Ingenierías*, 9(33), 7-13.
- Martínez Rivera, J. A., Parra Díaz, S., & Gamero Inda, E. (2006). Control de la humedad relativa y temperatura de un invernadero mediante control difuso. *ITCH - ELECTRO*, 111-116.
- Reznik, L. (1997). *Fuzzy controllers* (1ra ed.). (OXFORD, Ed.) Newnes.
- AAIC. (2004). *Diseño, construcción y mantenimiento de invernaderos de madera*. Quito: Abya Yala.
- Alpi, A., & Tognoni, F. (1999). *Cultivo en invernadero* (3ra ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Altahona Quijano, T. d. (2009). *Libro práctico sobre contabilidad de costos*. (F. D. EMPRESAS, Ed.) Recuperado el 30 de 07 de 2015, de Libro práctico sobre contabilidad de costos: <http://es.slideshare.net/cpczuniga/libro-practico-de-contabilidad-de-costosudi>
- Álvarez Pulido, M. (2004). *Controladores Lógicos* (1 ra ed.). MARCOMBO, S.A.
- Benavente, R. M., Garcia, J. L., Pastor, M., Luna, L., & Oliveira C, E. L. (2001). Estrategias de control del clima en invernaderos. *Horticultura*(156), 38-49.
- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

- Caguana, M., & Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar. (2003). *El cultivo de tomate riñón en invernadero (Lycopersicon esculentum)*. Recuperado el 03 de diciembre de 2015, de El cultivo de tomate riñón en invernadero (Lycopersicon esculentum): <http://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/11199/EI%20cultivo%20de%20tomate%20ri%C3%B1%C3%B3n%20en%20invernadero.pdf>
- Castilla Prados, N. (2007). *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo* (2da ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Centro de Estudios CEAC, S. (2007). *Curso de Instalador Electricista*. Barcelona, España.
- Cirstea, M. N., Dinu, A., Khor, J. G., & McCormick, M. (2002). *Neural and fuzzy logic control of drives and power systems* (1ra ed.). AMSTERDAM: OXFORD.
- Dario, R. G. (noviembre de 2008). *Mecánica Industrial*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de Mecánica Industrial: <http://wwwmecanicaindustrial.blogspot.com/2009/01/mantenimiento-en-motorreductores.html>
- DIPAC. (s.f.). *Catálogo de acero*. Quito: DIPAC.
- D-Robotics. (30 de julio de 2010). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de DHT11 Humidity & Temperature Sensor: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- EMB, G. e. (2011). *electroindustria*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de electroindustria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=701>
- Escaff G., M., Gil M., P., Ferreyra E., R., Estay P., P., Bruna V., A., Maldonado B., P., y otros. (2005). *Cultivo de tomate bajo invernadero*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2015, de Cultivo de tomate bajo invernadero: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR32335.pdf>
- Escaff, M., Gil, P., Ferryra, R., Estay, P., Bruna, A., Maldonado, P., y otros. (2005). *Cultivo de tomate bajo invernadero* (Boletín INIA-N°128 ed.). Chile: Instituto de investigaciones agropecuarias.
- Faires, V. M. (s.f.). *Diseño de elementos de máquinas* (4 ta ed.). Barcelona: Montaner y Simón S.A.
- Fernández Olvera, Y. F., & Sariñana Toledo, A. (2008). Control de posición de ventanas en un invernadero. *CIINDET*(2), 1-5.
- Ferromaq. (s.f.). *Ferromaq*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de Ferromaq: <http://www.ferromaq.com.ar/es/repuestos/motores-y-motorreductores>

- Fitzgerald, R. W. (2007). *Mecánica de materiales* (2 ed.). México, D.F.: Afaomega.
- Flores, C. R., Buono, S. H., & Giorgini, S. (2012). *Guía de consulta "Enfermedades de tomate"*. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de Guía de consulta "Enfermedades de tomate": <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-guiaconsultaenfermedadestomateweb.pdf>
- Fuzzy Logic Toolbox*. (s.f.). Recuperado el 26 de 05 de 2015, de <http://www.mathworks.com/products/datasheets/pdf/fuzzy-logic-toolbox.pdf>
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2009). *Mecánica de materiales* (7 ed.). Santa Fe: Cengage Learning.
- Gimbert, D. T. (2007). La ventilacion natural y su mecanización en invernaderos. *Horticultura*( N° 203), 29-30.
- GMB. (2009). *Catalog Universal Joint 2009*. GMB.
- Hernández Gaviño, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB* (1ra ed.). México: Pearson Educación.
- Hernández Hernández, M., & Tecnológico de Monterrey. Campus Querétaro. (2007). *Automatización de microclima en un invernadero ( Tesis de maestría )*. Querétaro;: Tecnológico de Monterrey.
- Honeywell. (Marzo de 2008). *HIH-4030/31 Series Humidity Sensors*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de HIH-4030/31 Series Humidity Sensors: <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4030-4031%20series-product-sheet-009021-4-en.pdf?name=HIH-4030-001>
- Honeywell. (febrero de 2010). *HIH-4000 Series*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de HIH-4000 Series: <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4000-series-product-sheet-009017-5-en.pdf>
- HOPE MICROELECTRONICS CO., L. (2006). *HUMIDITY SENSOR MODULE HH10D*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de HUMIDITY SENSOR MODULE HH10D: <http://www.hoperf.com/upload/sensor/hh10d.pdf>
- Huertas, L. (2007). El control ambiental en invernaderos: temperatura. *Horticultura*(203), 44-47.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Horticultura*(156), 52-54.
- Humirel. (07 de junio de 2002). *RELATIVE HUMIDITY SENSOR HS 1100 / HS 1101*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de RELATIVE HUMIDITY

SENSOR HS 1100 / HS 1101:

<http://www.uvm.edu/~cricksat/documents/HS1101.pdf>

INTECAP. (2002). *INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE Y MANTENIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS* (1 ed., Vol. 10). (INTECAP, Ed.) Guatemala.

Intyre, M. I. (s.f.). *Control de motores eléctricos*. Marcombo.

Jantzen, J. (2007). *Foundations of Fuzzy Control*. West Sussex: Wiley.

KloeME S.A de C.V. (2014). *Lista de precios 2014*. Moeller.

LIFASA. (s.f.). *Notas técnicas de aplicación condensadores para motor*. Recuperado el 10 de 06 de 2015, de Notas técnicas de aplicación condensadores para motor:  
[http://www.lifasa.es/descargas/es/not\\_tec\\_motor\\_e.pdf](http://www.lifasa.es/descargas/es/not_tec_motor_e.pdf)

Ljung, L. (1987). *System Identification: Theory for the User*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Ljung, L. (2003). *User's Guide: System Identification Toolbox For Use with MATLAB®* (6 ed.). (I. The MathWorks, Ed.)

López Guillén, E. (s.f.). *Identificación de Sistemas. Aplicación al modelado de un motor de continua*. Recuperado el 26 de 05 de 2015, de Identificación de Sistemas. Aplicación al modelado de un motor de continua.:  
<http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/assignaturas/32328/Tema6.pdf>

López Hernández, J. C., & Pérez Parra, J. (s.f.). *Evolución de las estructuras de invernadero*. Recuperado el 11 de febrero de 2014, , de  
<http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/evolucion-de-las-estructuras.pdf>

LSIS. (2008). *Metasol meta solution Contactors and Overload relays*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de Metasol meta solution Contactors and Overload relays: [http://www.bridex.com.au/download/LS/Metasol\\_MC\\_E\\_1004.pdf](http://www.bridex.com.au/download/LS/Metasol_MC_E_1004.pdf)

Matallana Gonzalez, A., & Montero Camacho, J. I. (1995). *Invernaderos diseño, construcción y climatización* (2da ed.). Madrid: Mundi-Press.

MathWorks. (Marzo de 2015). *Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide MATLAB*. Recuperado el 30 de 04 de 2015, de Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide MATLAB: [http://cn.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](http://cn.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)

Nguyen, H. T., Prasad, N. R., Walker, C. L., & Walker, E. A. (2003). *A first course in fuzzy and neural control*. New York, Washington, D.C.: CHAPMAN & HALL/CRC.

- Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A.
- OMRON. (2014). *Guía de automatización industrial*. Omron.
- Passino, K. M., & Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy control*. Menlo Park: Addison-wesley.
- Perales, A., Perdigones, A., Garcia, J. L., Montero, J. I., & Antón, A. (2003). Control de condensación en invernaderos. *Horticultura*(168), 14-19.
- Perdigones, A., Peralta, I., Nolasco, J., Muñoz, M. A., & Pascual, V. (Septiembre de 2004). *Sensores para el control climático en invernadero*. Recuperado el 28 de 06 de 2015, de Sensores para el control climático en invernadero: [http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh179/44\\_49.pdf](http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh179/44_49.pdf)
- Ponce, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. México: Alfaomega.
- RAISA. (s.f.). *Catalogo-Reductores de velocidad*. RAISA.
- Ramos Ramos, G., Hernández M, J. E., & Castaño Welgos, J. A. (2001). *Curso práctico de electrónica industrial y automatización*. Pereira, Colombia: CEKIT S.A.
- REM. (s.f.). *Catálogo reductores sinfín corona*. REM.
- Rodriguez, R., Tabares, J., & Medina, J. A. (2001). *Cultivo moderno del tomate* (2da ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Rubio Higenio, A. (s.f.). *Juntas universales*. Recuperado el 28 de diciembre de 2015, de Juntas universales: [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material\\_clase/ocw\\_juntas](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_juntas)
- Schneider Electric. (2014). *Automatización y control industrial*. Schneider Electric.
- SEAS, E. S. (s.f.). *Automatismo eléctrico*.
- SEAS, E. S. (s.f.). *Automatismo Eléctrico*. El depositario con autorización expresa de SEAS S.A.
- Serrano Cermeño, Z. (2005). *Construcción de invernaderos* (3a ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Siemens. (Junio de 2003). *Logo Manual*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, de Logo Manual : [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82567/v1/Logo\\_s.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf)

Siemens. (01 de agosto de 2014). *Lista de precios Ecuador*. Recuperado el 16 de junio de 2015, de Lista de precios Ecuador:  
<https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/Lista%20de%20precios%20final%20agosto14b.pdf>

Siemens. (s.f.). *Catalogo Motores trifásicos siemens*. Recuperado el 20 de enero de 2016, de Catalogo Motores trifásicos siemens:  
<https://es.scribd.com/doc/25110252/motores-siemens>

Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Berlin: Springer.

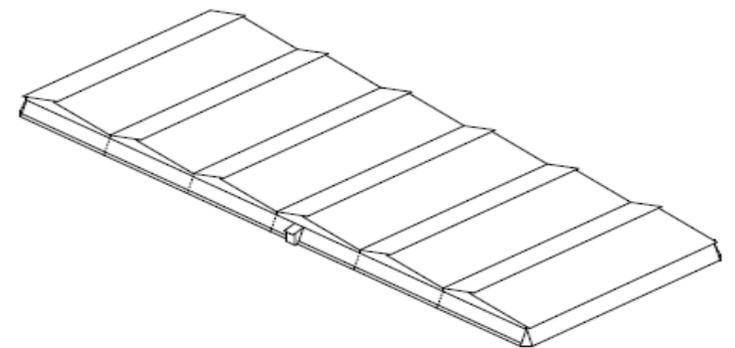
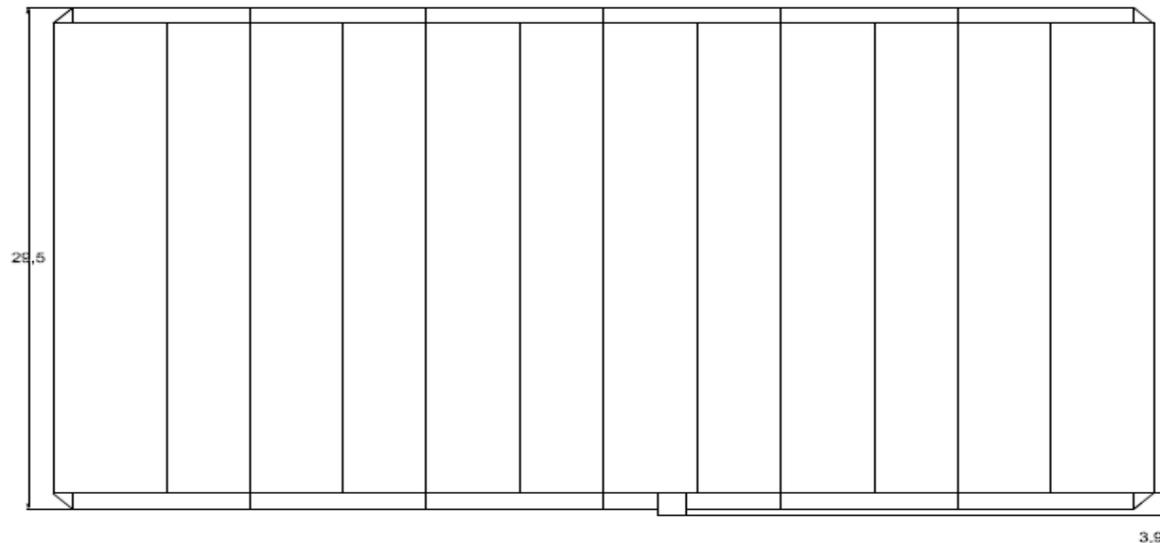
Takagi , T., & Sugeno , M. (1985 ). *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.

Ternium. (s.f.). *Elementos mecánicos*. Ternium.

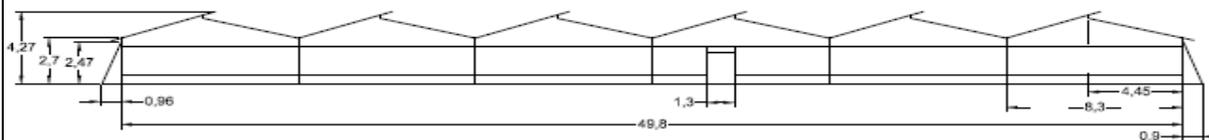
## **ANEXOS**

**ANEXO A:** Dibujo isométrico del invernadero

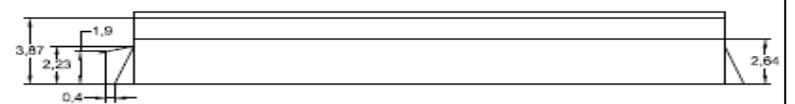
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



Diseño de Hernán Colcha	Revisado por Ing. Cosme Mejía	Aprobado por Ing. Cosme Mejía	FECHA	FECHA 04/02/2016	ESCALA No definida
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA			DIBUJO ISOMÉTRICO DEL INVERNADERO		
			Sistema de control difuso de la humedad relativa en un invernadero de tomate	Edición 1	Hoja 1/1

## ANEXO B: Tabla Generalidades de motor trifásico SIEMENS 1LA7 070-4YC60

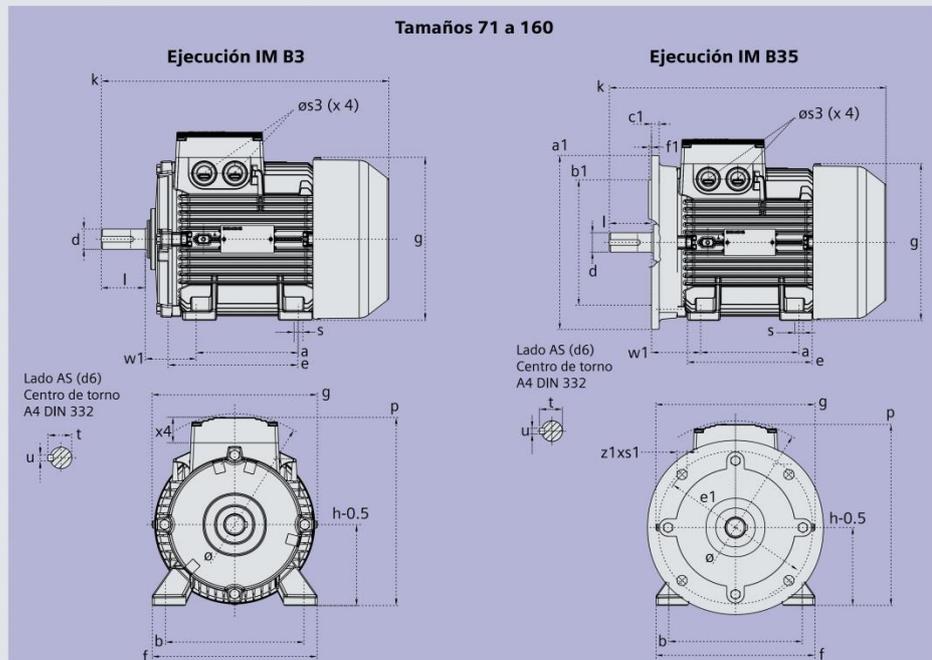
Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F,S,	In		Eficiencia h %	Factor de potencia Cos f	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte, de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m2	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
25000001108	1LA7 070-4YC60	71M	0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
25000001111	1LA7 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
25000001114	1LA7 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
25000001115	1LA7 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
25000001117	1LA7 090-4YA60	90S/L	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
25000001118	1LA7 094-4YA60	90S/L	2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
25000001119	1LA7 096-4YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
25000001120	1LA7 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
25000001121	1LA7 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
25000001122	1LA7 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,60	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
25000001123	1LA7 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
25000001124	1LA7 131-4YA70	132S/M	10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
25000001125	1LA7 133-4YA70	132S/M	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
25000001126	1LA7 134-4YA70	132S/M	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,06	1,8	5	0,024	62
25000001127	1LA7 164-4YA70	160 M/L	20	14,92	1,15	56,8	28,40	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25000001128	1LA7 167-4YA70	160 M/L	25	18,65	1,15	66	33,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	85,5
25000001129	1LA5 183-4YA80	180M/L	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,86	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
25000001130	1LA5 186-4YA80	180M/L	36	26,86	1,05	94	47,00	91,3	0,88	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190
25000001131	1LA5 187-4YA80	180M/L	40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,84	1750	162,83	2	5,6	0,15	190
25000001132	1LA4 207-4YC80	200L	50	37,30	1,15	126	63,00	91,3	0,84	1760	202,38	2,7	6,8	0,24	250
25000001133	1LA6 220-4YA80	225S	60	44,76	1,15	148	74,00	96,2	0,86	1765	242,17	2,7	6,6	0,44	314
25000001134	1LA6 224-4YC80	225M	75	55,95	1,15	188	94,00	92,7	0,86	1780	300,16	2	5,1	0,52	321
26697	1LG4 253-4AA60	250M	100	75,00	1,00	-	120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	6,3	0,69	390
26698	1LG4 280-4AA60	280S	125	93,00	1,00	-	145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	7,4	1,29	535
26699	1LG4 283-4AA60	280M	150	111,90	1,00	-	177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	7,4	1,47	580
26700	1LG4 310-4AA60	315S	200	150	1,00	-	240,00	94,5	0,84	1783	707	2,6	6,5	2	730
26701	1LG4 313-4AA60	315M	225	168	1,00	-	265,20	94,8	0,85	1783	848	2,8	6,9	2,46	810
26702	1LG4 316-4AA90-Z	315L	275	205	1,10	-	323,10	95,4	0,86	1783	1,028	2,8	6,9	3,01	955
26703	1LG4 317-4AA90-Z	315L	350	261	1,10	-	409,50	95,7	0,88	1785	1,285	2,8	7	3,91	1060

**Medidas para montaje (dimensiones en mm)**

Motor tamaño	Medidas comunes (IM B3, IM B5)						medidas de la forma constructiva IM B3								Medidas de la forma constructiva IM B5 / IM B35							
	l	d	t	u	g	g <sub>1</sub>	p/p <sub>2</sub>	k	a	b	h	w <sub>1</sub>	s	e	f	a1	b1	c1	e1	f1	s1	k
071	30	14	16.1	5	148	-	178.5	240	90	112	71	45	7	107.5	132	160	110	5.5	130	3.5	10.5	231
080	40	19	21.5	6	163	-	193.5	273.5	100	125	80	50	9.5	119.5	150	200	130	8	165	3.5	13	283
090 S	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	100	140	90	56	10	114.5	165	200	130	7	165	3.5	13	324
090 L	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	125	140	90	56	10	144.5	165	200	130	7	165	3.5	13	324
112 M	60	28	31.0	8	227	-	260	393	140	190	112	70	12	176	226	250	180	11	215	4	14.5	388
132 S	80	38	41.3	10	264.5	-	315	481	140	216	132	89	12	1218	256	300	230	14	265	4	15	481
132 M	80	38	41	10	266	-	299	491	178	216	132	89	12	218	226	300	230	12	265	4	4.5	491
160 M	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	210	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18	628
160 L	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	254	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18	628
180 M	110	48	51.5	14	357	499	410	653	241	279	180	121	16	301	339	350	250	13	300	5	18	653
180 L	110	48	51.5	14	357	499	410	691	279	279	180	121	16	339	339	350	250	13	300	5	18	691
200 L	110	55	59.0	16	403	534	460	743	305	318	200	133	20	385	398	400	300	15	350	5	18	743
225 S	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	286	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5	*830
225 M	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	311	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5	*830
250 M	140	*65	*69	18	520	-	680	930	349	406	250	168	24	409	506	550	450	18	500	5	17.5	930
280 S	140	*75	*79.5	*20	575	-	735	1005	368	457	280	190	24	479	557	550	450	18	500	5	17.5	1005
280 M	140	*75	*79.5	*20	575	-	735	1005	419	457	280	190	24	479	557	550	450	18	500	5	17.5	1005
315 S <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110	
315 S <sup>2)</sup>	170	85	85	22	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140
315 M <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	1110	406	508	315	216	28	527	628	660	550	22	600	6	22	1110	
315 M <sup>2)</sup>	170	80	85	22	-	-	1140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140
315 L <sup>1)</sup>	140	65	69	18	645	-	1250	508	508	315	216	28	578	628	660	550	22	600	6	22	1250	
315 L <sup>2)</sup>	170	80	85	22	-	-	1280	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1280

1) Motores de dos polos  
2) Motores de 4 a 8 polos

\* Para motores de dos polos cambian las siguientes medidas:  
- Tamaño constructivo 225 M: l=110; d=55; t=59; u=16 mm.; k=800.....  
- Tamaño constructivo 280 S: d=65; t=69; u=18 mm.



ANEXO B1: Especificaciones generales del tubo de acero mecánico redondo

ACERO



TUBO MECANICO REDONDO

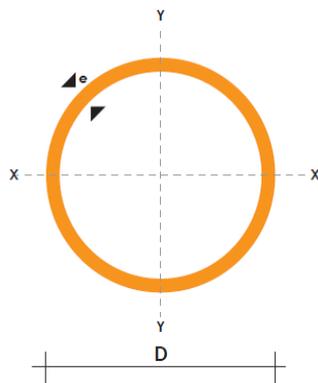
Especificaciones Generales

- Norma** ASTM A 513
- Recubrimiento** Negro o galvanizado
- Largo Normal** 6 mts
- Otros largos dimensiones** Previa consulta
- Desde 1/2" a 2 1/2"**
- Espesor** Desde 0,6 mm a 1,5 mm



NOMENCLATURA

- A=** Area de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I=** Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W=** Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- i=** Radio de giro de la sección cm



DIAMETRO EXTERIOR (D)		ESPESOR		PESO		PROPIEDADES	
Pulg	mm	e mm	P kg/6m	A cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
1/2	12.70	0.60	1.14	0.23	0.04	0.07	0.43
		0.75	1.44	0.28	0.05	0.08	0.42
		0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
		0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53
		0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.16	0.65
		0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65
		0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.76
		0.75	0.52	0.50	0.29	0.26	0.76
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.36	0.28	0.88
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

# ANEXO C: Especificaciones técnicas del Contactor LS Metasol MC-9b AC110V 50/60Hz



## Contactors (22AF)

### Description

- 3-pole(NO) main contact
- Finger proof design
- DIN rail or screw mountable
- AC or DC control in different physical size
- Front/side mountable accessories available
- Direct mountable overload relay available Rating
- 1NO or 1NC Auxiliary contact built-in as standard.
- UA-1 is available on only left side

### Rating



MC-22b



2pole for DC contact



3pole for DC contact

Contactor type			MC-9b		MC-12b		MC-18b		MC-22b		
			kW	A	kW	A	kW	A	kW	A	
AC duty	AC3	200/240V	2.5	11	3.5	13	4.5	18	5.5	22	
		380/440V	4	9	5.5	12	7.5	18	11	22	
		500/550V	4	7	7.5	12	7.5	13	15	20	
		690V	4	5	7.5	9	7.5	9	15	18	
	AC4	200/240V	1.5	8	2.2	11	3.7	16	3.7	18	
		380/440V	2.2	6	4	9	4	11	5.5	13	
AC1		-	25	-	25	-	32	-	40		
DC1 duty (L/R=1ms)	2-pole	24V	-	18	-	18	-	18	-	32	
		in series	48V	-	17	-	17	-	17	-	30
		110V	-	12	-	12	-	12	-	23	
	3-pole	24V	-	20	-	20	-	20	-	32	
		in series	48V	-	20	-	20	-	20	-	32
		110V	-	15	-	15	-	15	-	27	
DC 2,4 duty (L/R=15ms)	2-pole	24V	-	15	-	15	-	15	-	25	
		in series	48V	-	12	-	12	-	12	-	20
		110V	-	8	-	8	-	8	-	15	
	3-pole	24V	-	18	-	18	-	18	-	30	
		in series	48V	-	15	-	15	-	15	-	30
		110V	-	12	-	12	-	12	-	20	
Directly mountable Overload relay			MT-32								
Conductor size (solid, stranded)	AWG		16-10		16-8		14-8		14-8		
	(the max. number of conducts: 2)	mm <sup>2</sup>	1.5-4		1.5-10		2.5-10		2.5-10		
Conductor type			65/75°C Cu-wire only								



### Coil voltage

	50Hz	24, 32, 42, 48, 80, 100, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 500, 550V
AC	60Hz	24, 48, 100, 110, 120, 200, 208, 220, 230, 240, 277, 380, 480, 600V
	50/60Hz	24, 48, 100, 110, 120, 200, 220, 230, 240, 380, 415, 440, 500, 550V
DC		12, 20, 24, 48, 60, 80, 100, 110, 125, 200, 220, 250V

### Certification

- CE(IEC)
- UL508

# ANEXO D: Hoja de datos del relé térmicos SIEMENS SIRIUS 3RU2116-1DB0

## SIEMENS

Product data sheet

3RU2116-1DB0



OVERLOAD RELAY 2.2...3.2 A FOR MOTOR  
PROTECTION SZ S00,  
CLASS 10,  
F. MOUNTING ONTO CONTACTOR MAIN CIRCUIT:  
SCREW TERMINAL AUX. CIRCUIT: SCREW TERMINAL  
MANUAL-AUTOMATIC-RESET

General technical data:	
product brand name	SIRIUS
Product designation	3RU2 thermal overload relay
Size of overload relay	S00
Size of contactor / can be combined / company-specific	S00
Number of poles / for main current circuit	3
Product function / removable terminal for auxiliary and control circuit	No
Product function	
• overload protection	Yes
• Phase failure detection	Yes
• Ground fault detection	No
Product component	
• Auxiliary switch	Yes
• Trip indicator	Yes
Insulation voltage / with degree of pollution 3 / Rated value	V 690
Surge voltage resistance / Rated value	kV 6
Protection class IP	
• of the terminal	IP20
• on the front	IP20

<b>Protection against electrical shock</b>		finger-safe
<b>Installation altitude / at height above sea level / maximum</b>	m	2,000
<b>Shock resistance / acc. to IEC 60068-2-27</b>		8g / 11 ms
<b>Ambient temperature</b>		
• during transport	°C	-55 ... +80
• during storage	°C	-55 ... +80
• during operation	°C	-40 ... +70
<b>Relative humidity</b>		
• during operation	%	0 ... 90
<b>Active power loss / total / typical</b>	W	5.2

<b>Main circuit:</b>		
<b>Operating current / Rated value</b>	A	3.2
<b>Operating voltage / Rated value</b>	V	690
<b>Type of voltage / for main current circuit</b>		AC/DC
<b>Operating frequency</b>		
• Rated value	Hz	50 ... 60
<b>Operating current / at AC-3 / at 400 V / Rated value</b>	A	3.2
<b>Type of assignment</b>		2

<b>Steuerstromkreis</b>		
<b>Type of voltage / for auxiliary and control current circuit</b>		AC/DC

<b>Auxiliary circuit:</b>		
<b>Design of the auxiliary switch</b>		integrated
<b>Number of NC contacts / for auxiliary contacts</b>		1
<b>Number of NO contacts / for auxiliary contacts</b>		1
<b>Number of CO contacts / for auxiliary contacts</b>		0
<b>Operating current / of the auxiliary contacts</b>		
• at AC-15		
• at 24 V	A	3
• at 110 V	A	3
• at 120 V	A	3
• at 125 V	A	3
• at 230 V	A	2
• at 400 V	A	1
• at DC-13		
• at 24 V	A	2
• at 110 V	A	0.22
• at 125 V	A	0.22
• at 220 V	A	0.11

# ANEXO E: Hoja de datos del relé térmicos SIEMENS SIRIUS 3RU2116-1CB0

## SIEMENS

hoja de datos del producto

3RU2116-1CB0



RELE SOBRECARGA 1,8...2,5 A PARA PROTECCION DE MOTORES TAM. S00, CLASE 10, INSTALACION SOBRE CONTACTOR CIRC. PPAL.: BORNES TORNILLO CIRC. AUXL.: BORNES TORNILLO REARME MANUAL-AUTOMATICO

Datos técnicos generales:		
Nombre comercial del producto		SIRIUS
Designación del producto		Relé de sobrecarga térmica 3RU2
Tamaño del relé de sobrecarga		S00
Tamaño del contactor / combinable / específico de la empresa		S00
Número de polos / para circuito principal		3
Función del producto / borne desmontable para circuito auxiliar y circuito de mando		No
Función del producto		
• protección de sobrecarga		Si
• detección de pérdida de fase		Si
• Detección de defectos a tierra		No
Componente del producto		
• interruptor auxiliar		Si
• Señalizador de disparo		Si
Tensión de aislamiento / con grado de contaminación 3 / valor asignado	V	690
Resistencia a tensión de choque / valor asignado	kV	6
Grado de protección IP		
• del borne de conexión		IP20
• frontal		IP20

<b>Protección de contacto directo contra descarga eléctrica</b>		a prueba de contacto involuntario con los dedos
<b>Altitud de instalación / con altura sobre el nivel del mar / máxima</b>	m	2.000
<b>Resistencia a choques / según IEC 60068-2-27</b>		8g / 11 ms
<b>Temperatura ambiente</b>		
• durante el transporte	°C	-55 ... +80
• durante el almacenamiento	°C	-55 ... +80
• durante el funcionamiento	°C	-40 ... +70
<b>humedad relativa del aire</b>		
• durante el funcionamiento	%	0 ... 90
<b>Potencia activa disipada / Total / típico</b>	W	5,1

#### Circuito de corriente principal:

<b>Intensidad de empleo / valor asignado</b>	A	2,5
<b>Tensión de empleo / valor asignado</b>	V	690
<b>Tipo de corriente / para circuito principal</b>		AC/DC
<b>Frecuencia de empleo</b>		
• valor asignado	Hz	50 ... 60
<b>Intensidad de empleo / con AC-3 / con 400 V / valor asignado</b>	A	2,5
<b>Tipo de coordinación</b>		2

#### Steuerstromkreis

<b>Tipo de corriente / para circuito auxiliar y circuito de mando</b>		AC/DC
---	--	-------

#### Circuito de corriente secundario:

<b>Tipo de interruptor auxiliar</b>		integrado
<b>Número de contactos NC / para contactos auxiliares</b>		1
<b>Número de contactos NA / para contactos auxiliares</b>		1
<b>Número de contactos conmutados / para contactos auxiliares</b>		0
<b>Intensidad de empleo / de los contactos auxiliares</b>		
• con AC-15		
• con 24 V	A	3
• con 110 V	A	3
• con 120 V	A	3
• con 125 V	A	3
• con 230 V	A	2
• con 400 V	A	1
• con DC-13		
• con 24 V	A	2
• con 110 V	A	0,22
• con 125 V	A	0,22

# ANEXO F: Características del interruptor de límite marca mounjen modelo ME-8104

ME - CHARACTERISTICS	
Rating	<ul style="list-style-type: none"> <li>5A at 250V AC (resistive)</li> <li>0.4A at 115V DC (resistive)</li> </ul>
Operating speed	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.5mm to 50m/sec</li> </ul>
Operating frequency	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanically: 120 operations/min.</li> <li>Electrically: 30 operations/min.</li> </ul>
Contact resistance	<ul style="list-style-type: none"> <li>15m W max. (initial)</li> </ul>
Insulation resistance	<ul style="list-style-type: none"> <li>100M W min. (at 500 VDC)</li> </ul>
Dielectric strength	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between non-continuous terminals</li> <li>2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 minute between each terminal and non-current carrying metal part and between each terminal and ground</li> </ul>
Vibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Malfunction durability: 10 to 55Hz 1.5mm double amplitude</li> </ul>
Shock	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanical durability: Approx 1,000m/sec (approx 100G's)</li> <li>Malfunction durability: Approx. 300m/sec (approx 30G's)</li> </ul>
Ambient temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operating: -15° to +70° C</li> </ul>
Humidity	<ul style="list-style-type: none"> <li>95% RH max</li> </ul>
Service life	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanically: 10,000,000 operations min</li> <li>Electrically: 300,000 operations min.</li> </ul>
Degree of protection	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEC 529 class IP65</li> </ul>

FEATURES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variety of operating characteristics</li> <li>Wide choice of heads and actuators</li> <li>Captive cover screws</li> <li>Mode of operation is field adjustable</li> <li>International grounding screw</li> <li>Dust proof, Oil-Tight, Water Resistant</li> <li>Temperature range +5° F to +160° F</li> <li>Temperature range -15° C to 70° C</li> </ul> <p><b>Easy Wiring Diagram</b></p> <p><b>Field Adjustable</b></p> <p>Rotary motion roller lever and rod actuators are adjustable through 360°. They may be set for operation clockwise, counter-clockwise, or in both directions. Operating heads may be positioned in any of four 90°.</p>	<p><b>CIRCUITRY</b></p> <p><b>Easy Wiring</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Loosen cover screws and remove cover</li> <li>Remove rubber strain relief from switch cover</li> <li>slip strain relief over cable</li> <li>Fasten terminal screws tightly after inserting cables or terminals</li> <li>After wiring, insert strain relief into the groove of the switch cover</li> <li>Fasten 3 cover screws evenly. Do not over tighten</li> <li>Recommended Cable #18/2 SJT Flexible</li> </ul>

	ME-8104	ME-8107	ME-8108	ME-8111	ME-8112
OF MAX	600g	203g	340g	900g	900g
RF MIN	50g	12g	21g	150g	150g
PT MAX	20°	20°	20°	1.5mm	1.5mm
OT MIN	75°	75°	75°	4.0mm	4.0mm
DT MAX	10°	10°	10°	0.7mm	0.7mm
TT MIN	*	*	95°	5mm	5mm

	ME-9101	ME-8122	ME-8169	ME-8166
OF MAX	900g	900g	90g	90g
RF MIN	*	150g	*	*
PT MAX	30mm	1.5mm	30mm	30mm
OT MIN	20mm	4.0mm	20mm	20mm
DT MAX	*	0.7mm	*	*
TT MIN	*	5mm	*	*

## ANEXO G: Hoja de datos de Sensor de Humedad Relativa AOSONG AMT1001



### Parámetros eléctricos:

- (1) tensión de alimentación ( $V_{in}$ ): DC5V 5%±
  - (2) el consumo de corriente: sobre 2 mA (MAX 5 mA)
  - (3) el intervalo de temperatura de 0 ~ 60 centígrados :
  - (4) el uso de Humedad: 95% RH (no gel)
  - (5) un rango de detección de humedad: 20 ~ 95% RH
  - (6) Rango de temperatura de almacenamiento: 0 ~ 60 centígrados
  - (7) mantener Humedad: 95% RH (no gel)
  - (8) Humedad exactitud: ±5% de humedad relativa (condición: AT25 centígrados )
  - (9) la tensión de salida de humedad estándar:
- (Condición: AT25 centígrados ,  $V_{in} = 5.0V$ )

Relative humidity (%RH)	20	30	40	50	60	70	80	90	95
output voltage (V)	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	2.85

### atención de uso:

- (1) para evitar condiciones de condensación.
  - (2) módulo sin protección electrodo, tenga en cuenta al realizar el cableado.
  - (3) las condiciones recomendadas de almacenamiento
- Rango de temperatura: 10 ~ 40 centígrados  
Rango de humedad por debajo del 60% de humedad relativa

### Ámbito de aplicación:

, Farmacéutica, alimentos, almacenamiento, tabaco, textiles, industria meteorológica electrónica.

# ANEXO H: Hoja de datos del PLC LOGO! 12/24RC

## SIEMENS

Product data sheet

6ED1052-1MD00-0BA6



LOGO! 12/24RC, LOGIC MOD., DISPL. PU/I/O: 12/24V  
DC/RELAY,  
8 DI (4AI)/4 DO;  
MEM 200 BLOCKS EXPANDABLE WITH EXTRA  
MODULES

Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage	
12 V DC	Yes
24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	10.8 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Time of day	
Time switching clocks	
Number	8
Power reserve	80 h
Digital inputs	
Number of digital inputs	8 ; Of which 4 can be used in analog mode (0 to 10 V)
Digital outputs	
Number of digital outputs	4 ; Relays
short-circuit protection	No ; external fusing necessary
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	

with inductive load, max.	3 A
with resistive load, max.	10 A
<b>EMC</b>	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
Limit class B, for use in residential areas	Yes
<b>Degree and class of protection</b>	
IP20	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
Developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
<b>Marine approval</b>	
Marine approval	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
Ambient temperature in operation	
Min.	0 °C
max.	55 °C
<b>Dimensions</b>	
Width	72 mm
Height	90 mm
Depth	55 mm
Status	Oct 25, 2014

# ANEXO I: Hoja de datos de la fuente SIEMENS LOGO!Power 24 V/2.5 A. (6EP1332-1SH43)

## SIEMENS

Product data sheet

6EP1332-1SH43



LOGO!POWER 24 V/2.5 A STABILIZED POWER SUPPLY  
INPUT: 100-240 V AC (110-300 V DC) OUTPUT: 24 V/2.5 A  
DC

Technical specifications	
Product	LOGO!Power
Power supply, type	24 V/2.5 A
Input	
Input	1-phase AC or DC
Supply voltage / at AC / nominal value min.	100 V
Supply voltage / at AC / nominal value max.	240 V
Supply voltage	
• at AC	85 ... 264 V
Input voltage / at DC	110 ... 300 V
Wide-range input	Yes
Overtolerance resistance	$2.3 \times V_{in}$ rated, 1.3 ms
Mains buffering at I <sub>out</sub> rated, min.	40 ms
Mains buffering	at $V_{in} = 187$ V
Rated line frequency	50 / 60 Hz
Rated line range	47 ... 63 Hz
Input current / at nominal level of the input voltage 120 V	1.22 A
Input current / at nominal level of the input voltage 230 V	0.66 A
Switch-on current limiting (+25 °C), max.	46 A
I <sup>2</sup> t, max.	3 A <sup>2</sup> ·s
Built-in incoming fuse	internal

Protection in the mains power input (IEC 898)	Recommended miniature circuit breaker: from 16 A characteristic B or from 10 A characteristic C
<b>Output</b>	
Output	Controlled, isolated DC voltage
Rated voltage $V_{out}$ DC	24 V
Total tolerance, static $\pm$	3 %
Static mains compensation, approx.	0.1 %
Static load balancing, approx.	1.5 %
Residual ripple peak-peak, max.	200 mV
Residual ripple peak-peak, typ.	10 mV
Spikes peak-peak, max. (bandwidth: 20 MHz)	300 mV
Spikes peak-peak, typ. (bandwidth: 20 MHz)	50 mV
Adjustment range	22.2 ... 26.4 V
Product feature / output voltage adjustable	Yes
Output voltage setting	via potentiometer
Status display	Green LED for output voltage OK
On/off behavior	No overshoot of $V_{out}$ (soft start)
Startup delay, max.	0.5 s
Voltage rise, typ.	10 ms
Rated current value $I_{out}$ rated	2.5 A
Current range	0 ... 2.5 A
• Note	+55 ... +70 °C: Derating 2%/K
delivered active power / typ.	60 W
Parallel switching for enhanced performance	Yes
Numbers of parallel switchable units for enhanced performance	2
<b>Efficiency</b>	
Efficiency at $V_{out}$ rated, $I_{out}$ rated, approx.	88 %
Power loss at $V_{out}$ rated, $I_{out}$ rated, approx.	8 W
Effective power loss / at idle / maximum	1.8 W
<b>Closed-loop control</b>	
Dynamic mains compensation ( $V_{in}$ rated $\pm 15$ %), max.	0.2 %
Dynamic load smoothing ( $I_{out}$ : 10/90/10 %), $U_{out} \pm$ typ.	2 %
Load step setting time 10 to 90%, typ.	1 ms
Load step setting time 90 to 10%, typ.	1 ms
<b>Protection and monitoring</b>	
Output overvoltage protection	Yes, according to EN 60950-1
Current limitation, typ.	3.3 A
Characteristic feature of the output / short-circuit protected	Yes
Short-circuit protection	Constant current characteristic

**ANEXO J:** Hoja de datos del módulo de expansión para señales digitales LOGO! DM8 12/24R (6ED1055-1MB00-0BA1)

**SIEMENS**

Product data sheet

6ED1055-1MB00-0BA1



LOGO! DM8 12/24R,  
EXP. MODULE PU/I/O: 12,  
24V/12V/24V/RELAIS, 2TE, 4 DI/4 DO

Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide
Supply voltage	
12 V DC	Yes
24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	10.8 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Digital inputs	
Number of digital inputs	4
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Digital outputs	
Number of digital outputs	4 ; Relays
short-circuit protection	No
Output current	
for signal "1" rated value	5 A
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	

with inductive load, max.	3 A
with resistive load, max.	5 A
<b>EMC</b>	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
Limit class B, for use in residential areas	Yes
<b>Degree and class of protection</b>	
IP20	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
Developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
<b>Marine approval</b>	
Marine approval	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
Ambient temperature in operation	
max.	55 °C
<b>Dimensions</b>	
Width	36 mm ; 2 DU
Height	90 mm
Depth	55 mm
Status	Dec 4, 2014

**ANEXO K: Hoja de datos del módulo de expansión para señales analógicas  
LOGO! AM2 12/24 V DC (6ED1055-1MA00-0BA0)**

**SIEMENS**

Product data sheet

6ED1055-1MA00-0BA0



LOGO! AM2 EXPANSION MODULE,  
PU: DC 12/24V, 2 AI, 0 - 10V OR 0 - 20mA

Installation type/mounting	
<b>Mounting</b>	on 35 mm DIN rail, 2 spacing units wide
Supply voltage	
12 V DC	Yes
24 V DC	Yes
Analog inputs	
<b>Number of analog inputs</b>	2
Input ranges	
<b>Voltage</b>	Yes
<b>Current</b>	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
0 to +10 V	Yes
Input ranges (rated values), currents	
0 to 20 mA	Yes
EMC	
<b>Emission of radio interference acc. to EN 55 011</b>	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011 (limit class B)	Yes
Degree and class of protection	

<b>IP20</b>	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
<b>CSA approval</b>	Yes
<b>UL approval</b>	Yes
<b>FM approval</b>	Yes
<b>Marine approval</b>	Yes
<b>Developed in accordance with IEC 61131</b>	Yes
<b>according to VDE 0631</b>	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
<b>Operating temperature</b>	
<b>Min.</b>	0 °C
<b>max.</b>	55 °C
<b>Dimensions</b>	
<b>Width</b>	36 mm
<b>Height</b>	90 mm
<b>Depth</b>	55 mm
Status	Sep 2, 2013

ANEXO L: Tabla Valores normalizados cables A.W.G

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	00100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	00711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011

<b>42</b>	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
<b>43</b>	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
<b>44</b>	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Fuente:<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG>.

**ANEXO M:** Tabla Humedad Relativa interna registrada en el invernadero “% de humedad”

MINUTOS	HORAS							
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
<b>1</b>	44	34	28	25	29	31	43	41
<b>2</b>	45	35	28	26	30	30	44	41
<b>3</b>	45	35	27	26	30	30	41	42
<b>4</b>	44	36	27	26	30	30	43	42
<b>5</b>	43	31	27	26	30	30	42	42
<b>6</b>	43	36	27	26	30	30	42	42
<b>7</b>	44	36	27	25	30	29	43	42
<b>8</b>	44	35	26	26	30	30	41	41
<b>9</b>	44	35	26	27	30	30	41	42
<b>10</b>	42	34	27	26	30	30	42	42
<b>11</b>	43	32	26	26	30	28	41	42
<b>12</b>	42	31	26	26	31	29	40	42
<b>13</b>	44	32	26	26	31	29	40	43
<b>14</b>	40	33	26	26	31	29	39	44
<b>15</b>	40	33	25	25	31	28	39	44
<b>16</b>	41	31	26	24	31	30	39	44
<b>17</b>	42	32	26	25	31	29	39	44
<b>18</b>	41	32	26	25	32	29	39	45
<b>19</b>	41	28	26	25	32	29	38	45
<b>20</b>	42	28	26	26	32	29	37	45
<b>21</b>	43	29	26	26	31	29	38	45

22	41	31	26	26	31	29	38	46
23	40	31	26	26	31	29	38	46
24	39	32	26	26	31	29	38	46
25	39	31	26	26	31	29	38	47
26	38	31	26	25	31	30	37	47
27	40	32	24	25	32	29	37	48
28	40	32	26	25	32	30	37	48
29	40	32	25	25	32	30	37	48
30	41	31	25	25	33	30	37	48
31	40	31	25	25	32	30	37	49
32	38	31	24	26	33	30	37	50
33	39	31	24	25	33	30	37	50
34	40	31	25	26	33	30	37	50
35	39	31	25	26	34	30	37	51
36	40	31	25	25	33	31	37	52
37	38	31	25	26	32	31	38	52
38	40	31	26	25	33	31	37	53
39	39	29	26	26	32	32	38	53
40	38	31	26	26	33	32	38	52
41	40	30	26	26	33	32	38	53
42	38	30	26	26	33	34	39	54
43	38	29	26	26	32	33	39	54
44	38	29	25	27	31	34	39	55
45	38	29	26	27	31	35	40	56
46	38	29	26	27	31	35	40	57
47	37	29	26	27	31	35	40	58
48	38	29	26	28	32	37	40	58
49	39	28	26	28	31	37	40	59
50	39	28	26	28	31	38	40	60
51	38	29	26	28	32	38	40	60
52	39	29	26	29	31	38	40	60
53	38	30	26	28	30	38	40	60
54	36	28	25	28	31	39	40	61

<b>55</b>	36	28	26	28	31	41	40	61
<b>56</b>	36	27	26	29	31	40	41	62
<b>57</b>	36	26	26	29	31	41	41	62
<b>58</b>	32	27	26	29	31	42	41	62
<b>59</b>	34	28	25	29	31	42	41	62
<b>60</b>	36	28	25	29	31	42	41	63

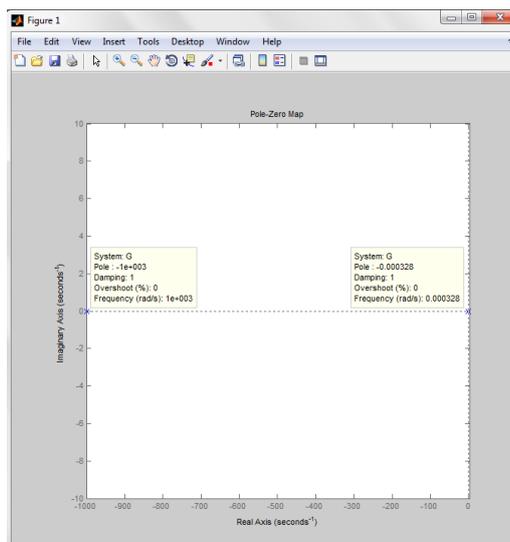
## ANEXO N: Código Matlab de obtención de características dinámicas de sistema

*Para el sistema en lazo abierto*

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

- *Obtener los polos y ceros*
- *Graficar los polos y ceros*
- *Graficar la respuesta del sistema ante entrada de señales tipo escalón unitario e impulso*

```
>> num=[13203]; %Vector con coeficientes del numerador
>> den=[1309729824 1.3097e+012 4.3004e+008 1]; %Vector con coeficientes
del %denominador
>> G=tf(num,den) % Construcción de G(s)
>> G
Transfer function:
          13203
-----
1.31e009 s^3 + 1.31e012 s^2 + 4.3e008 s + 1
>> polos_s=pole(G) %Obtención de los polos del sistema G(s)
polos_s =
   -999.9769
   -0.0003
   -0.0000
No existen ceros
>> pzmap(G) %Grafica de polos y ceros de G(s)
>> axis([-1000 2 -10 10]) %Escala de ejes
```

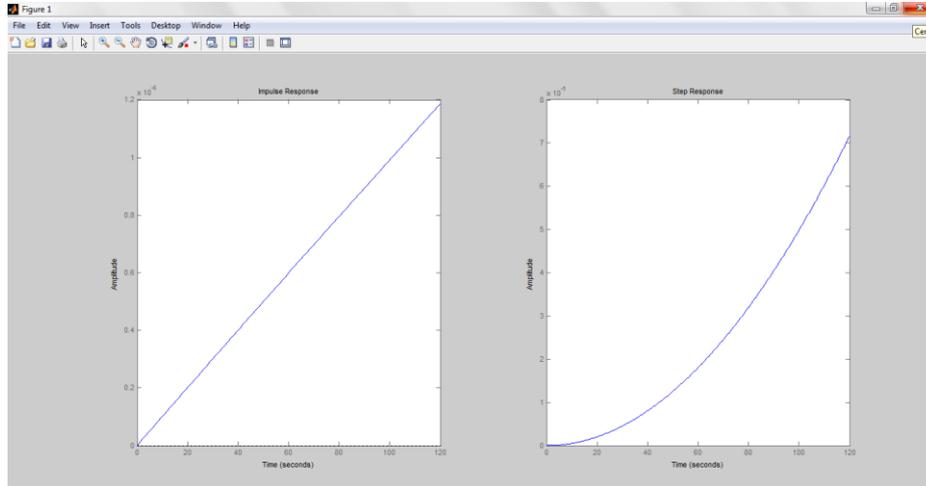


**Figura N1.** Distribución de polos del sistema G(s) en lazo abierto

```

>>subplot(1,2,1) %Grafica se representa en la subventana 121
>>impulse(G,120) %Respuesta impulsional de G(s)
>>subplot(1,2,2) %Grafica se representa en la subventana 122
>>step(G,120) %Respuesta escalón unitario de G(s)

```



**Figura N2.** Respuesta impulso y escalón unitario

### **Sistema en lazo cerrado**

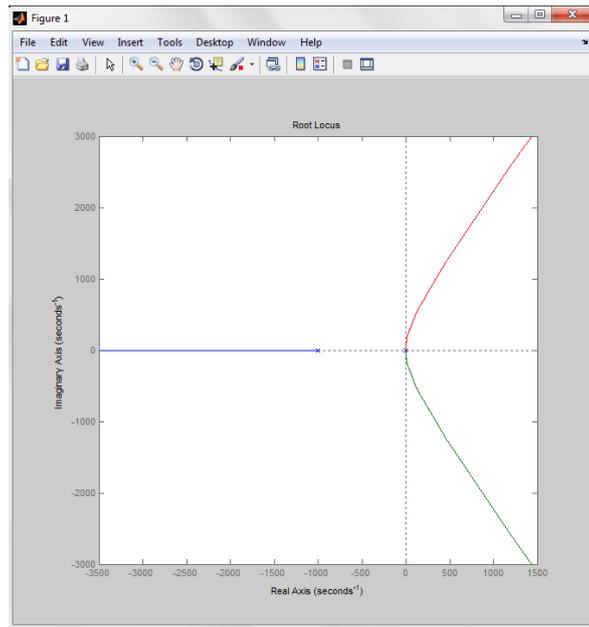
```

H=feedback(G,1) %Obtención de la función de transferencia en
%lazo cerrado
Transfer function:
      13203
-----
1.31e009 s^3 + 1.31e012 s^2 + 4.3e008 s + 13204
ph=pole(H)

ph =

-999.9769
-0.0003
-0.0000
>> rlocus(H) %Obtención del lugar de las raíces

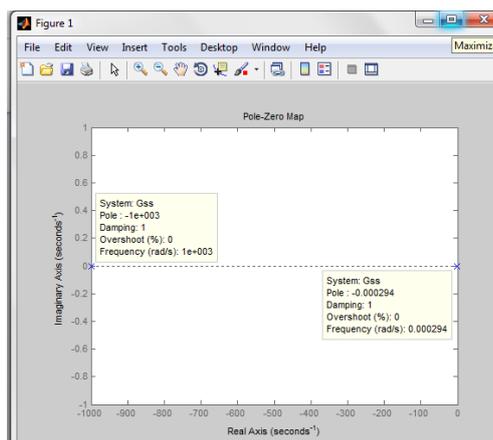
```



**Figura N2.** Lugar de las raíces del sistema  $H(s)$  en lazo cerrado

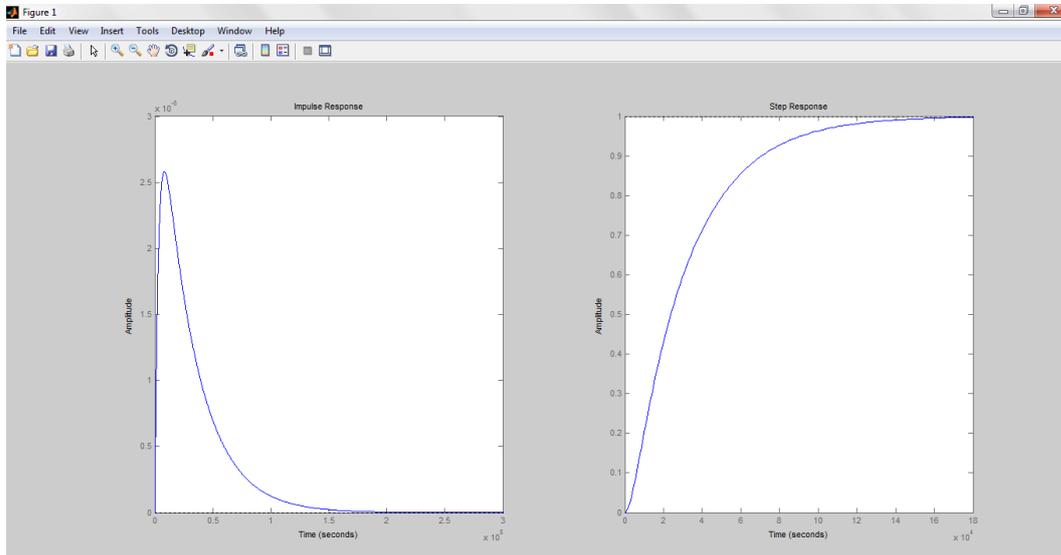
```
>> p=pole(Gss)

p =
999.9769
0.0003
0.0000
>> pzmap(Gss)
```



**Figura N3.** Distribución de polos del sistema  $G(s)$  en lazo cerrado

```
>>subplot(1,2,1) %Grafica se representa en la subventana 121
>>impulse(H) %Respuesta impulsional de H(s)
>>subplot(1,2,2) %Grafica se representa en la subventana 122
>>step(H) %Respuesta escalón unitario de H(s)
```



**Figura N3.** Respuesta del sistema en lazo cerrado ante una entrada impulso y escalón unitario

## ANEXO O: Creación sistema difuso en Fuzzy Logic Toolbox™

**Paso 1:** Abrir el Editor de FIS e ingresar las funciones de pertenencia para las entradas y salidas como se muestra en la Figura O1. Seleccionar el método Mamdani, método de fuzificación, y método de defuzificación

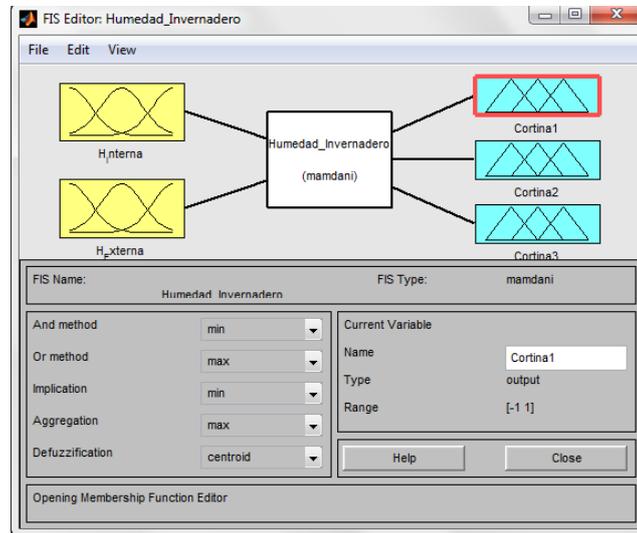


Figura O1. Menú principal del Fuzzy Toolbox, FIS Editor.

**Paso 2:** Haga click en las variables de entrada y edite las funciones de pertenencia como se muestra en la Figuras O2 Y O3.

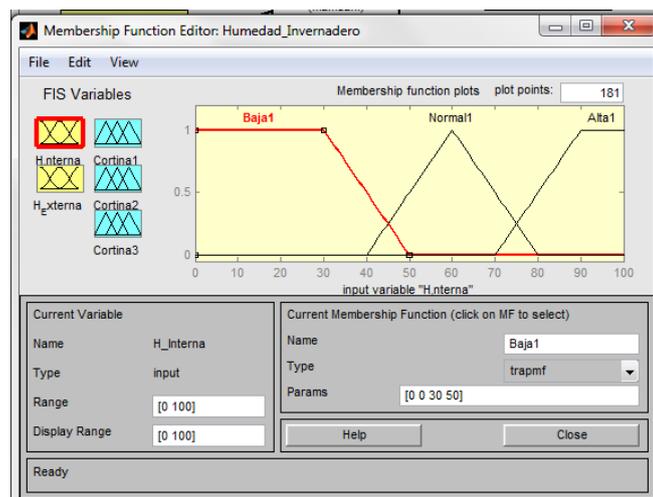
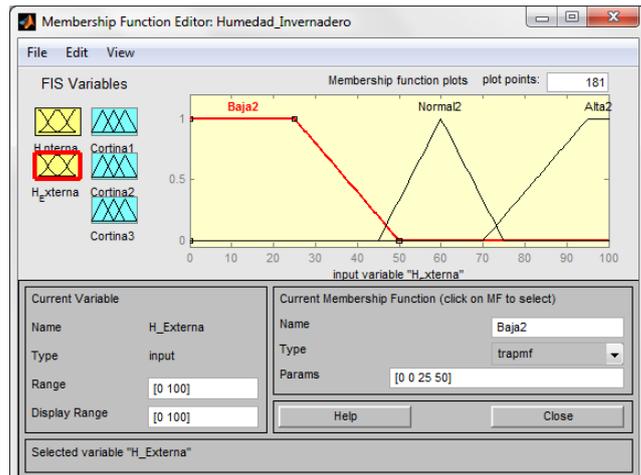
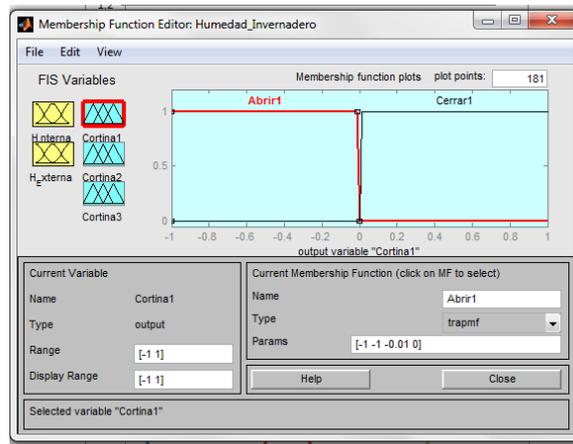


Figura O2. Función de membresía humedad interna

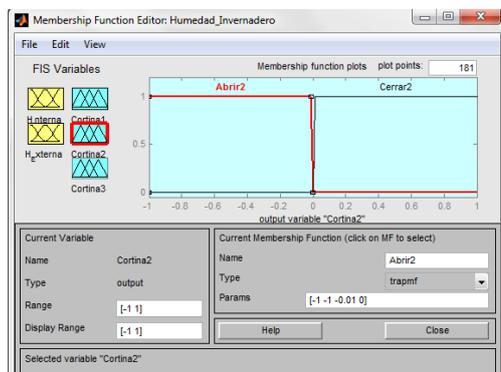


**Figura O3.** Función de membresía humedad externa

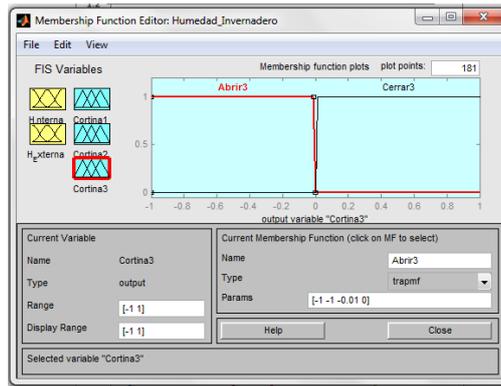
**Paso 3:** Haga click en las variables de salida y edite la funciones de pertenencia como se muestra en la Figuras O4, O5 y O6.



**Figura O4.** Función de membresía Motor1 (cortina1)

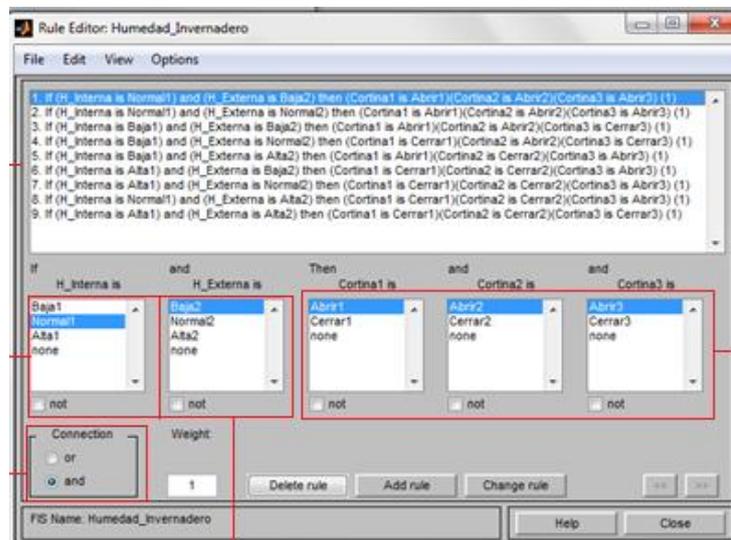


**Figura O5.** Función de membresía Motor2 (cortina2)



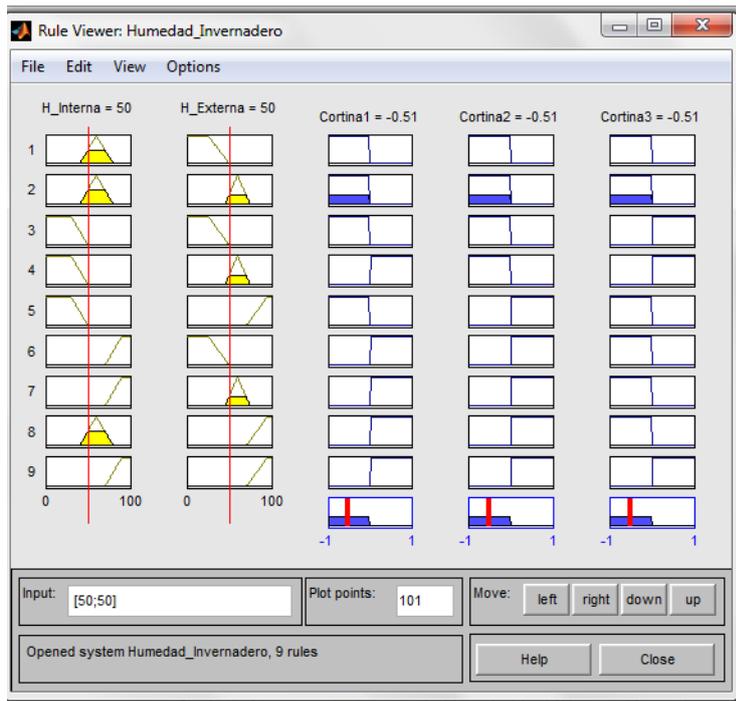
**Figura O6.** Función de membresía Motor3 (cortina3)

**Paso 4:** Edite la base de regla haciendo click sobre la base de regla del menú de visualización.

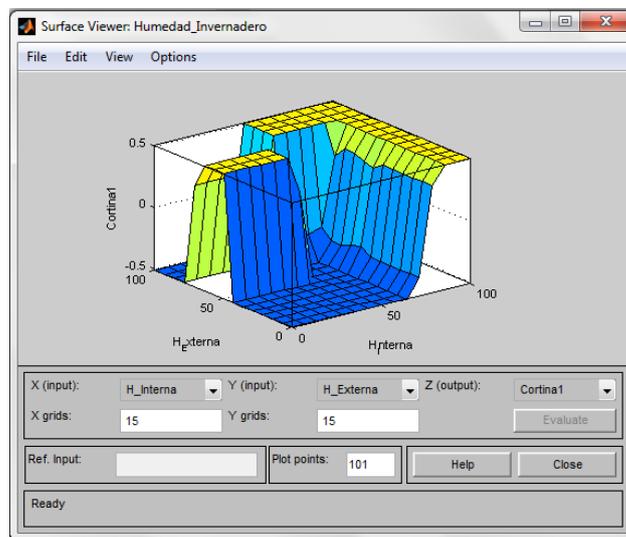


**Figura O7.** Editor de reglas

**Paso 5:** Para simular las reglas ingresadas vaya hacia el menu View y haga click en opción reglas (Rules).



**Paso 6:** Para ver la superficie vaya hacia el menú View y haga click en opción Surface.



**Figura O9.** Superficie de control Humeda\_Invernadero

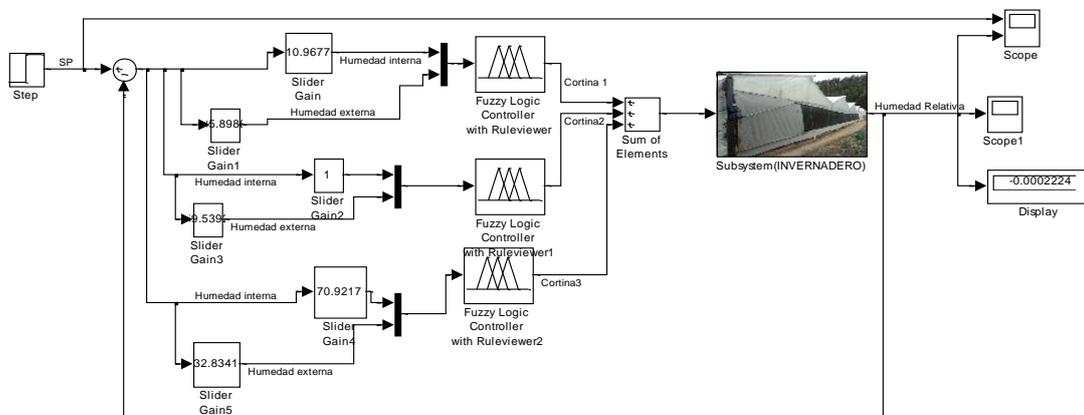
**Paso 6:** Guardar el FIS creado haciendo click en el menú *File* -> *export to...* -> *Disk* (del FIS Editor)

## ANEXO P: Implementación del controlador en simulink

**Paso 1:** Crear tres archivos .FIS a partir del creado en el Anexo O, con las reglas que implican únicamente la cortina de salida correspondiente

**Paso 2:** Importar el archivo FIS guardado anteriormente desde el menú fuzzy y luego al *workspace*, para que luego Matlab lo pueda reconocer y pueda ser implementado en Simulink, para eso se debe acceder al menú *File -> export to... -> workspace*.

**Paso 3:** Abra Simulink en la ventana de comando de Matlab y abra un nuevo archivo, para agregar el diagrama de la Figura P1.



**Figura P1.** Diagrama del controlador en simulink

**Paso 4:** Cargar el controlador en Simulink en el bloque *fuzzy logic controller*, presionando doble click sobre él y escribiendo el nombre del archivo con que se guardó el controlador(.FIS). Repetir este pasó encada cada bloque de controlador difuso de la respectiva cortina

## ANEXO Q: Encuesta

### ENCUESTA

Realizada por: José Hernán Colcha Ulcuango

Nombre del Entrevistado: Hna. Dora Elena ..... Cargo: Operario .....

1. ¿En qué horarios realizan la apertura y cierre de las cortinas del invernadero?  
7:30 AM a 3:30 PM siempre y cuando este haciendo sol .....  
Si esta nublado todas se cierra .....
2. ¿Qué parámetros consideran antes de abrir o cerrar las cortinas?
  - a) Velocidad , Dirección del Viento
  - b) Temperatura
  - c) Humedad Relativa
  - d) LLuvia
  - e) Otros
3. ¿Qué operación realizan con las cortinas (apertura o cierre) cuando llueve?  
Cerrar Todas las cortinas .....
4. ¿Qué operación realizan con las cortinas (apertura o cierre) cuando Fumigan el cultivo?  
Abrir Todas las cortinas .....
5. ¿Por lo general Cuantas veces al día abren y cierran las cortinas del invernadero?  
Por lo general una sola vez a no ser que al medio día .....  
empece a llover .....
6. ¿Cuáles son los principales efectos en el cultivo de tomate cuando hay exceso de humedad relativa?  
Enfermedades en las plantas de tomate como la botritis .....  
y la gata .....

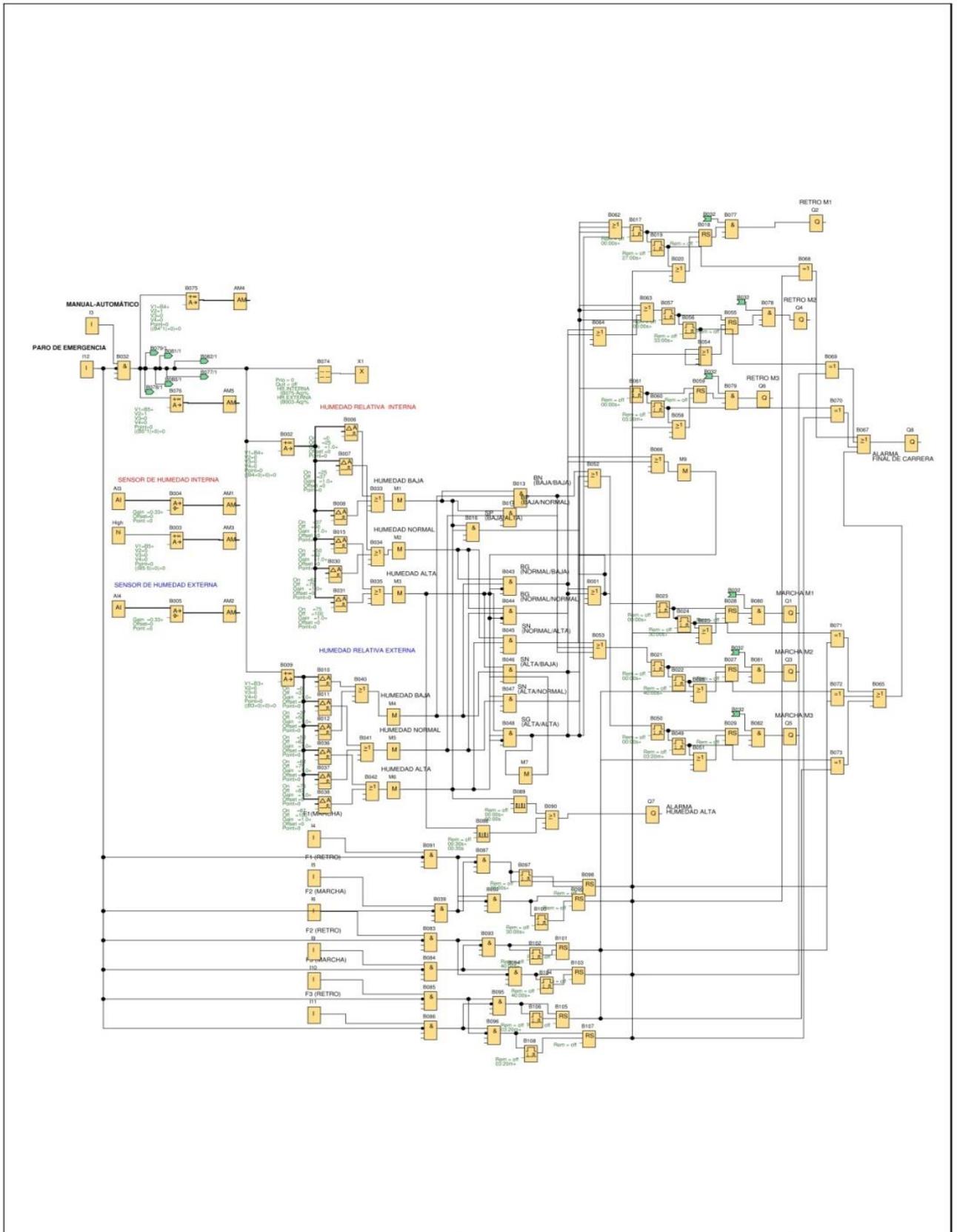
7. ¿Cómo evitan el exceso de humedad relativa y en caso de existir como la controlan?

Sin regar el terreno y abriendo las cortinas.....  
.....  
.....

8. ¿Cuáles son los inconvenientes que ha tenido con el mecanismo manual de apertura y cierre de las cortinas?

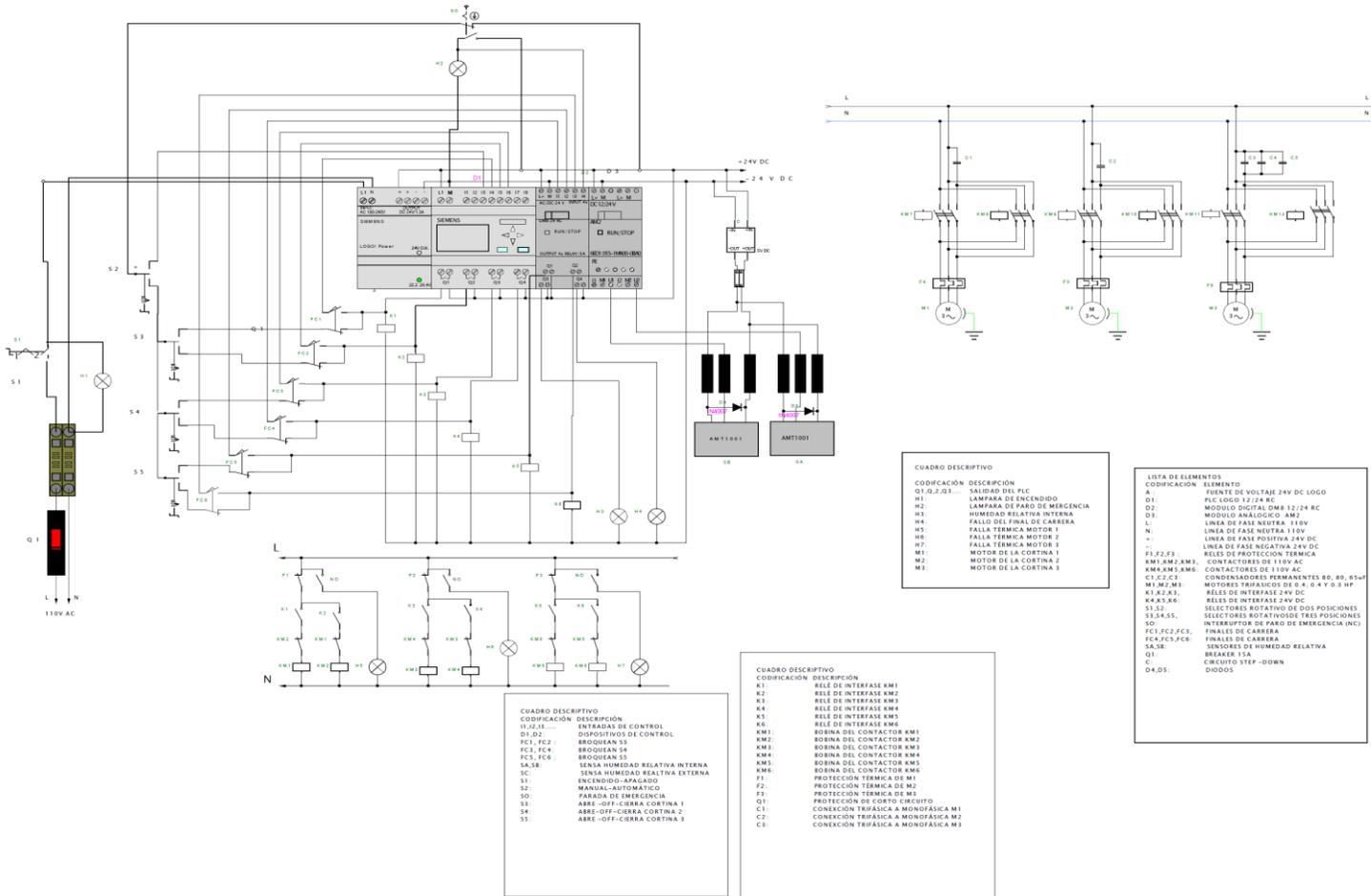
De una tiene que estar todo el tiempo presente preocupado.  
Es inseguro.....  
.....

# ANEXO R: Código de programación gráfica de LOGO!



Autor:	HERNÁN COLCHA	U. T. N	Proyecto:	CONTROL DIFUSO DE LA	Cliente:	CONVENTO HERMANAS
Comprobado:	ING. COSME MEJÍA		Instalación:	CONTROL DIFUSO DE LA	Nº diagrama:	1
Fecha de creación/modificación:	16/03/15 22:44/15/03/16 17:06		archivo:	CONTROL_HUMEDAD_RELATI	Página:	1 / 6

## **ANEXO S:** Diagrama eléctrico y control



CUADRO DESCRIPTIVO  
 CODIFICACION DESCRIPCION  
 I1, J1, J2 ENTRADAS DE CONTROL  
 DI, DI2, DI3 DISPOSITIVOS DE CONTROL  
 FC1, FC2, FC3, FC4 BROUQUAN S4  
 FC5, FC6 BROUQUAN S5  
 SA58 SENSIA HUMEDAD RELATIVA INTERNA  
 SC SENSIA HUMEDAD RELATIVA EXTERNA  
 S1 ENCENDIDO-APAGADO  
 S2 MANUAL-AUTOMATICO  
 S0 PARADA DE EMERGENCIA  
 S3 ABRE-OFF-CIERRA CORTINA 1  
 S4 ABRE-OFF-CIERRA CORTINA 2  
 S5 ABRE-OFF-CIERRA CORTINA 3

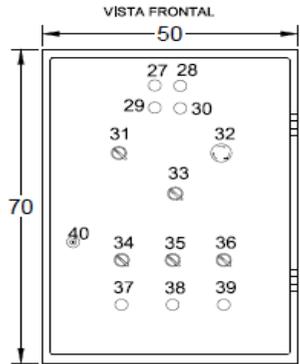
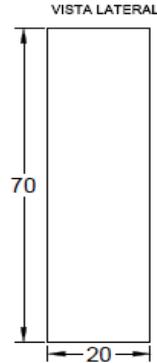
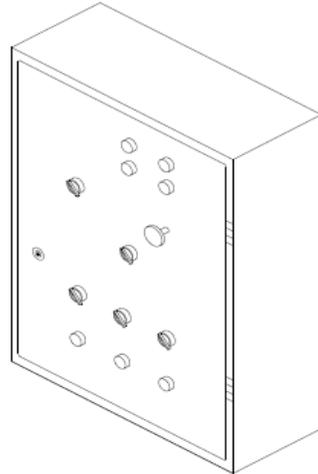
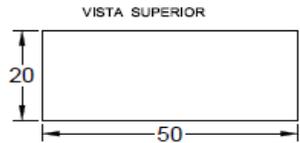
CUADRO DESCRIPTIVO  
 CODIFICACION DESCRIPCION  
 K1 RELE DE INTERFASE KM1  
 K2 RELE DE INTERFASE KM2  
 K3 RELE DE INTERFASE KM3  
 K4 RELE DE INTERFASE KM4  
 K5 RELE DE INTERFASE KM5  
 K6 RELE DE INTERFASE KM6  
 SM1 BORNINA DEL CONTACTOR KM1  
 KM2 BORNINA DEL CONTACTOR KM2  
 KM3 BORNINA DEL CONTACTOR KM3  
 KM4 BORNINA DEL CONTACTOR KM4  
 KM5 BORNINA DEL CONTACTOR KM5  
 KM6 BORNINA DEL CONTACTOR KM6  
 P1 PROTECCION TERMICA DE M1  
 P2 PROTECCION TERMICA DE M2  
 P3 PROTECCION TERMICA DE M3  
 Q1 PROTECCION DE CORTO CIRCUITO  
 C1 CONEXION TRIFASICA A MONOFASICA M1  
 C2 CONEXION TRIFASICA A MONOFASICA M2  
 C3 CONEXION TRIFASICA A MONOFASICA M3

CUADRO DESCRIPTIVO  
 CODIFICACION DESCRIPCION  
 Q1, Q2, Q3 VALVULAS DEL FLE  
 M1 LAMPARA DE ENCENDIDO  
 M2 LAMPARA DE PARO DE EMERGENCIA  
 M3 HUMEDAD RELATIVA INTERNA  
 M4 FALLO DEL FINAL DE CARRERA  
 M5 FALTA TERMICA MOTOR 1  
 M6 FALTA TERMICA MOTOR 2  
 M7 FALTA TERMICA MOTOR 3  
 M1 MOTOR DE LA CORTINA 1  
 M2 MOTOR DE LA CORTINA 2  
 M3 MOTOR DE LA CORTINA 3

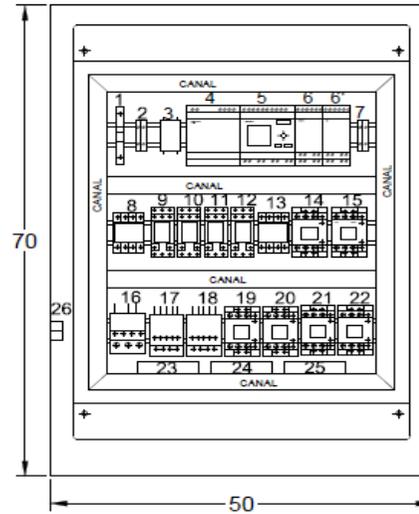
LISTA DE ELEMENTOS  
 CODIFICACION ELEMENTO  
 A FUENTE DE VOLTAJE 24V DC LOGO  
 DI1 PLC LOGO 12/24 RC  
 DI2 MODULO DIGITAL DM 8 12/24 RC  
 DI3 MODULO ANALOGICO AM2  
 L LINEA DE FASE NEUTRA 110V  
 N LINEA DE FASE NEUTRA 110V  
 - LINEA DE FASE POSITIVA 24V DC  
 + LINEA DE FASE NEGATIVA 24V DC  
 F1, F2, F3 RELES DE PROTECCION TERMICA  
 KM1, KM2, KM3 CONTACTORES DE 110V AC  
 KM4, KM5, KM6 CONTACTORES DE 110V AC  
 C1, C2, C3 CONDENSADORES PERMANENTES 80, 80, 81µF  
 M1, M2, M3 MOTORES TRIFASICOS DE 0.4 0.4 Y 0.3 HP  
 K1, K2, K3 RELES DE INTERFASE 24V DC  
 K4, K5, K6 RELES DE INTERFASE 24V DC  
 S1, S2 SELECTORES ROTATIVOS DE DOS POSICIONES  
 S3, S4, S5 SELECTORES ROTATIVOS DE TRES POSICIONES  
 S0 INTERCEPTOR DE PARO DE EMERGENCIA (INCL)  
 FC1, FC2, FC3, FC4 FINALES DE CARRERA  
 FC5, FC6 FINALES DE CARRERA  
 SA58 SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA  
 Q1 BREAKER 15A  
 C CIRCUITO STEP-DOWN  
 D1, D2, D3 DIODOS

Diseño responsable	Referencia técnica	Creado por	Aprobado por
UTN		Messán Colicchia	
		Tipo de documento	Estado del documento
		Thib, (hilo suplementario)	Rev.
		Fecha de edición	Lugar
		02/07/2015	España
			Página 1/1

## **ANEXO T: Arquitectura del tablero de control**



VISTA INTERIOR DEL TABLERO



LISTA DE ELEMENTOS	
NÚMERO	ELEMENTO
Nº 1:	Q1, BREAKER 15A
Nº 2:	BORNERA
Nº 3:	C, CIRCUITO STEP-DOWN
Nº 4:	FUENTE SIEMENS LOGO! POWER 24 DC/ 2.5A
Nº 5:	PLC LOGO! 12/24 RC
Nº 6:	MÓDULO DE EXPANSIÓN DM8 12/24 RC
Nº 6':	MÓDULO DE EXPANSIÓN AM2
Nº 7:	BORNERA
Nº 8:	K1, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 110 V AC )
Nº 9:	K2, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 250 V AC 10A)
Nº 10:	K3, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 250 V AC 10A)
Nº 11:	K4, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 250 V AC 10A)
Nº 12:	K5, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 250 V AC 10A)
Nº 13:	K8, RELÉ DE INTERFASE (24 V DC A 110 V AC )
Nº 14:	KM1, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 15:	KM2, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 16:	F1, RELÉ DE SOBRECARGA MT
Nº 17:	F2, RELÉ DE SOBRECARGA 1.8-2.5A (PROTECCIÓN MOTOR 2)
Nº 18:	F3, RELÉ DE SOBRECARGA 2.2-3.2A (PROTECCIÓN MOTOR 3)
Nº 19:	KM3, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 20:	KM4, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 21:	KM5, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 22:	KM6, CONTACTOR DE 110V AC -9A
Nº 23:	C1, CONDENSADOR PERMANENTE 80uF
Nº 24:	C2, CONDENSADOR PERMANENTE 80uF
Nº 25:	C3, CONDENSADOR PERMANENTE 60uF
Nº 26:	BORNERA

LISTA DE ELEMENTOS	
NÚMERO	ELEMENTO
Nº 27:	H1, LUZ PILOTO ENCENDIDO
Nº 28:	H2, LUZ PILOTO PARO DE EMERGENCIA
Nº 29:	H3, LUZ PILOTO HUMEDAD RELATIVA INTERNA
Nº 30:	H4, LUZ PILOTO FALLO DEL INTERRUPTOR DE POSICIÓN
Nº 31:	S1, SELECTOR ROTATIVO DE DOS POSICIONES APAGADO-ENCENDIDO
Nº 32:	S2, SELECTOR ROTATIVO DE DOS POSICIONES MANUAL-AUTOMÁTICO
Nº 33:	SO, PULSADOR PARO DE EMERGENCIA
Nº 34:	S3, SELECTOR DE TRES POSICIONES (ABRIR-OFF-CERRAR CORTINA 1)
Nº 35:	S4, SELECTOR DE TRES POSICIONES (ABRIR-OFF-CERRAR CORTINA 2)
Nº 36:	S5, SELECTOR DE TRES POSICIONES (ABRIR-OFF-CERRAR CORTINA 3)
Nº 40:	H5, LUZ PILOTO FALLA TÉRMICA M1
Nº 41:	H6, LUZ PILOTO FALLA TÉRMICA M2
Nº 42:	H7, LUZ PILOTO FALLA TÉRMICA M3
Nº 43:	LLAVE DEL GAVINETE

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	FECHA	FECHA	ESCALA
Hernán Colcha	Ing. Cosme Mejía	Ing. Cosme Mejía		23/07/2015	No definida
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		ARQUITECTURA DEL TABLERO ELÉCTRICO		Sistema de control difuso de la humedad relativa en un invernadero de tomate	
				Edición	Hoja
				1	1/1

**ANEXO U: Manual de usuario**



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

## **MANUAL DE USUARIO**

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

**AUTOR: JOSÉ HERNÁN COLCHA ULCUANGO**

**Ibarra – 2016**

# ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1 MANUAL DE USUARIO .....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS.....	3
1.2.1 ESTRUCTURA.....	4
1.2.2 FUNCIONAMIENTO .....	4
1.3 TABLERO DE CONTROL .....	5
1.3.1 VISTA FRONTAL .....	5
1.3.2 VISTA INTERIOR .....	6
1.3.3 FUNCIONAMIENTO .....	6
1.3.4 PLC LOGO 12/24 RC .....	12
1.4 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.....	13
1.4.1 PRECAUCIONES GENERALES DEL SISTEMA .....	14
1.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	15
1.5.1 MANTENIMIENTO DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS .....	15
1.5.2 MANTENIMIENTO DE LA ETAPA DE CONTROL .....	16
1.5.3 MANTENIMIENTO GENERAL .....	16

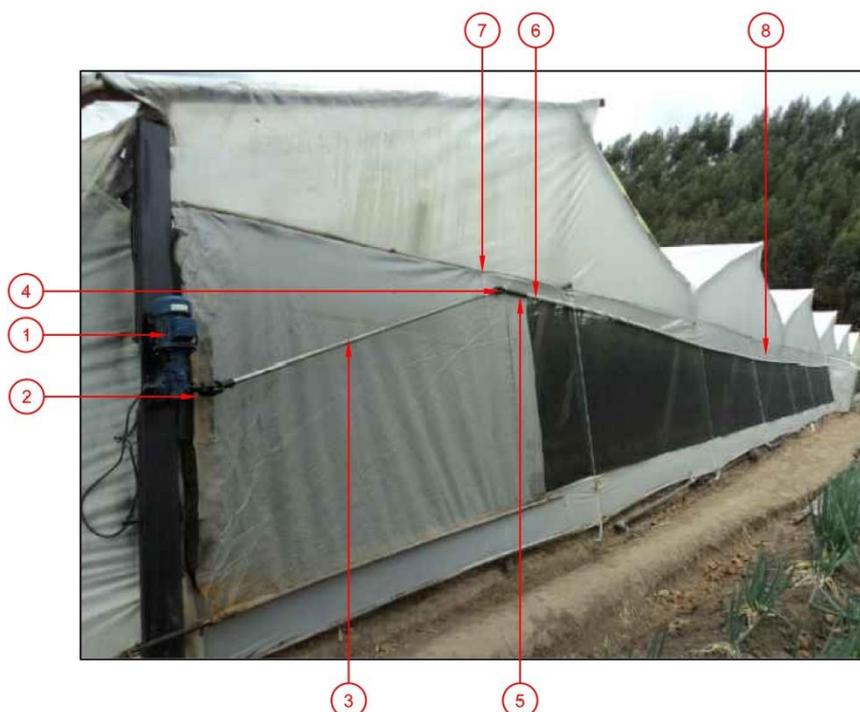
# 1 MANUAL DE USUARIO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El propósito del siguiente manual es ayudar a reducir y eliminar averías en la instalación, brindar información para operación correcta del sistema de control, por consiguiente se recomienda realizar todas las recomendaciones que se detallan a continuación.

## 1.2 MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS

### SISTEMA TELESCÓPICO DE APERTURA Y CIERRE DE LAS VENTANAS DEL INVERNADERO



N°. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Motor-reductor
2	Junta universal
3	Barra de mando
4	Junta universal
5	Corredera
6	Tubo de la cortina
7	Cuerda POLY100
8	Cortina

### **1.2.1 ESTRUCTURA**

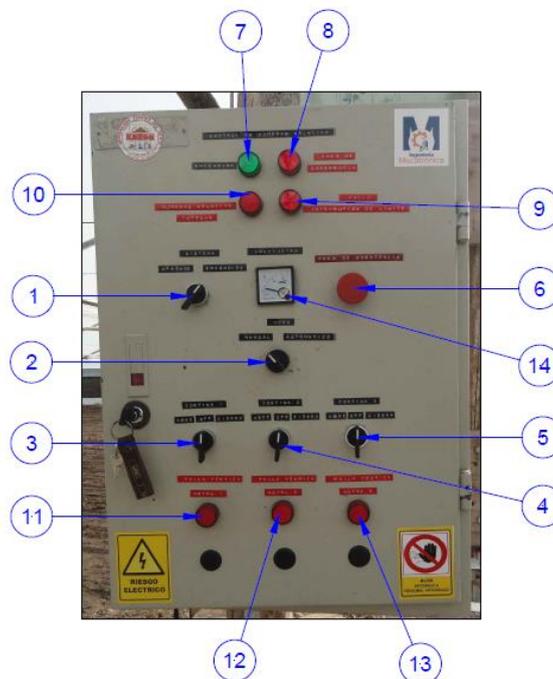
El sistema consiste en un motor-reductor fijo colocado a la mitad de la cortina a través de un soporte, y uno o dos brazos telescópicos dependiendo de las cortinas, el motor-reductor es conectado a una unión tipo junta universal que a su vez conecta a un extremo de un brazo telescópico. El otro extremo del brazo telescópico se conecta a una segunda unión tipo junta universal que finalmente se une al tubo de la cortina.

### **1.2.2 FUNCIONAMIENTO**

El motor del sistema transmite el movimiento al brazo telescópico a través de la primera unión. Por las características de la unión, cuando el eje del motor gira el brazo gira con una inclinación variable sobre el plano; simultáneamente, el brazo telescópico, a través de la segunda unión, transmite el movimiento al tubo de la cortina. Esto permite que el tubo de la cortina gire mientras suba enrollando la cortina o baje desenrollando la cortina.

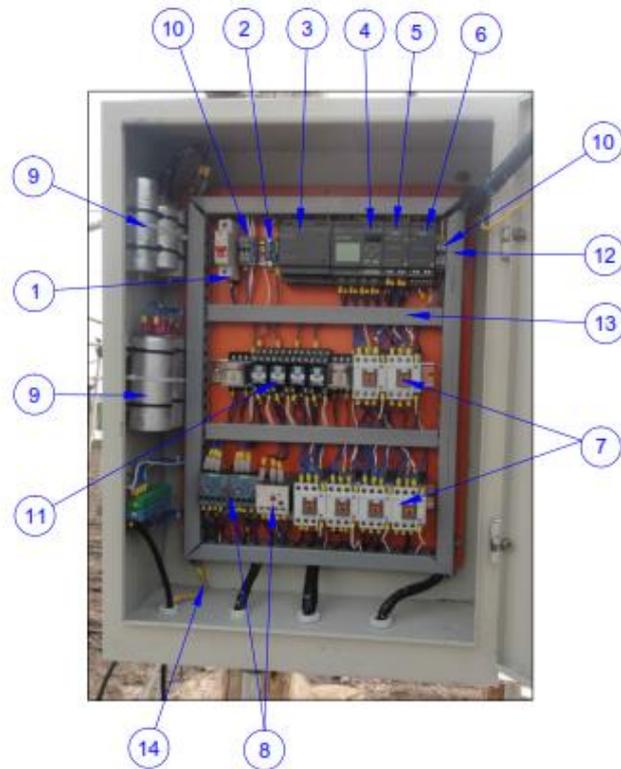
## 1.3 TABLERO DE CONTROL

### 1.3.1 VISTA FRONTAL



Nº. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Botón selector rotativo de dos posiciones para el ENCENDIDO y APAGADO del sistema
2	Botón selector rotativo de dos posiciones para elegir el CONTROL MANUAL o AUTOMÁTICO del sistema
3	Botón selector rotativo de tres posiciones para ABRIR – OFF- CERRAR la cortina 1
4	Botón selector rotativo de tres posiciones para ABRIR – OFF- CERRAR la cortina 2
5	Botón selector rotativo de tres posiciones para ABRIR – OFF- CERRAR la cortina 3
6	Botón tipo hongo empleado como PARO DE EMERGENCIA
7	Luz piloto verde indica ENCENDIDO sistema
8	Luz piloto naranja indica PARO DE EMERGENCIA activado
9	Luz piloto roja indica FALLO DEL SENSOR final de carrera
10	Luz piloto roja indica HUMEDAD RELATIVA INTERNA encendido fijo e intermitente HUMEAD BAJA
11	Luz piloto roja indica FALLA TÉRMICA DEL MOTOR 1
12	Luz piloto roja indica FALLA TÉRMICA DEL MOTOR 2
13	Luz piloto roja indica FALLA TÉRMICA DEL MOTOR 3
14	Voltímetro

### 1.3.2 VISTA INTERIOR



N°. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Breaker 15A
2	Fuente de 5V DC
3	Fuente SIEMENS LOGO!Power 24 V/2.5 A.
4	PLC LOGO! 12/24RC
5	Modulo LOGO! DM8 12/24R
6	Modulo LOGO! AM2 12/24 V DC
7	Contactador de tres polos LS 110 V AC - 9A
8	Relés térmicos
9	Capacitores
10	Bornes
11	Relé de interface (24 V DC a 110 VAC)
12	Canaleta ranurada 25 x40mm
13	Canaleta ranurada 25 x25mm
14	Conexión de tierra

### 1.3.3 FUNCIONAMIENTO

### 1.3.3.1 Encendido

Antes de encender el sistema observar que el voltaje no sea inferior a 110V caso contrario no encender.



En sistema se enciende girando el botón selector de dos posiciones ENCENDIDO – APAGADO a la posición encendido, tras realizar esta acción se enciende la luz piloto de color verde indicando que el sistema y el PLC se encuentran encendido y que está listo para elegir el modo de control manual o automático.



### 1.3.3.2 Apagado

De manera similar al encendido del sistema, para apagar el sistema girando el botón selector de dos posiciones ENCENDIDO –APAGADO a la posición apagado, seguidamente todos los elementos quedan desenergizados

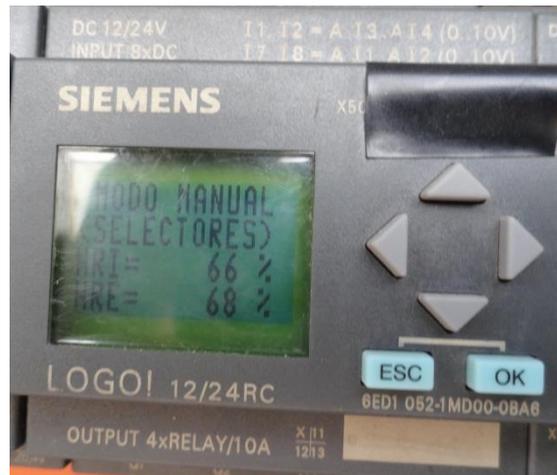


### 1.3.3.3 Control manual

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.





#### 1.3.3.4 Control automático (DIFUSO)

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

La variación de la humedad relativa es indicada con una luz piloto de color roja cuando la humedad es muy alta se enciende de forma fija y contrariamente si la humedad es muy baja la luz se enciende de forma intermitente.



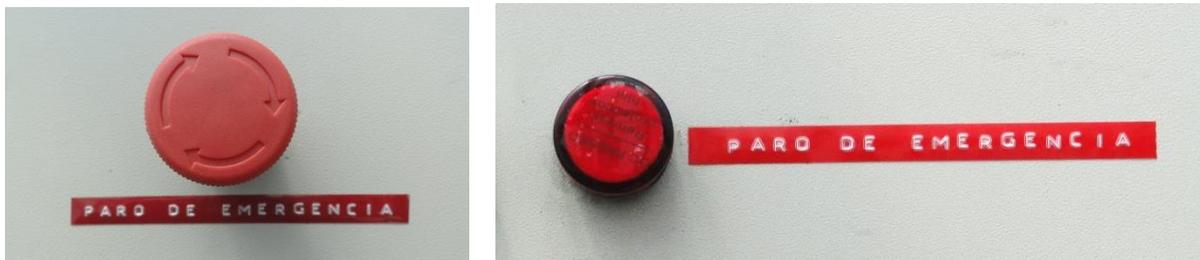
### 1.3.3.5 Fallo de interruptor de límite

La luz piloto fallo de interruptor de límite se activa cuando en el modo automático cualquiera de los finales de carrera no hacen contacto con la cortina en un tiempo determinado con la cortina al mismo tiempo paralizando el sistema.



### 1.3.3.6 Paro de emergencia

Este pulsador paraliza el proceso de funcionamiento a causa de alguna emergencia.

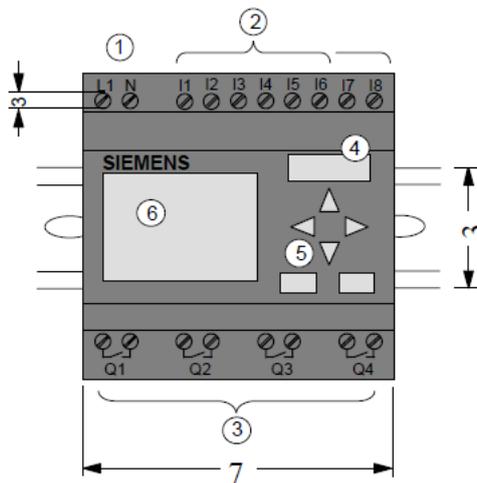


### 1.3.3.7 Falla térmica

Cada motor dispone de un rete térmico para protegerlo de sobrecargas y fallos debido a falta de una fase, y una luz piloto roja que indica el disparo de relé térmico cuando este detecta una sobrecarga.



### 1.3.4 PLC LOGO 12/24 RC

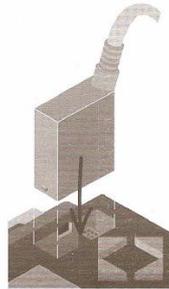


Fuente: (Siemens, Logo Manual, 2003)

Nº. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Alimentación de tensión
2	Entradas
3	Salidas
4	Receptáculo de módulo con revestimiento
5	Panel de manejo
6	Display LCD

## Transferencia de un programa a través de su cable (PC → LOGO)

1. Energizar el PLC y conectar el cable de programación



2. Seleccionar modo STOP con panel de manejo



3. Conectar el cable de grabación con la PC



4. En el software LOGO! Soft Comfort presionamos en la herramienta PC-LOGO



5. Verificar el mensaje de transferencia exitosa
6. Ejecutar el programa grabado seleccionando START

## 1.4 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Este manual dispone aspectos para la seguridad personal y prevención de daños de materiales.

Los siguientes símbolos son empleados para alertar al operario ante una situación peligrosa



Riesgo eléctrico



Peligro en general



No tocar



Prohibido fumar y encender fuego



Entrada prohibida a personas no autorizadas



Protección obligatoria de los pies

#### 1.4.1 PRECAUCIONES GENERALES DEL SISTEMA

Lea el manual antes de poner en funcionamiento el sistema



No manipular las conexiones con el panel conectado a la red de alimentación.



No presionar el botón de parada de emergencia de no ser necesario



No manipule las instalaciones eléctricas si no está formado y autorizado para ello



No abrir la puerta del tablero eléctrico ya que podría modificar las conexiones existentes



No presiones los botones del tablero sin previa información de su función



No tocar partes del mecanismo de las cortinas (ejes, juntas universales, etc) en funcionamiento



Respete las señalizaciones



No gaste bromas con la electricidad



No utilizar herramientas eléctricas con las manos o pies húmedos



No desconectar los equipos tirando de los cables



No ingresar al invernadero sin previa autorización



No fumar o encender fuego cerca del tablero eléctrico



Utilizar botas de seguridad con características dieléctricas

## 1.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es aquel que se ejecuta antes de que se produzca el fallo o avería, cuyo objetivo es evitar que se desagrede un servicio determinado o bien que se produzcan incidentes en los dispositivos. (SEAS E. S.)

### 1.5.1 MANTENIMIENTO DEL MECANISMO DE APERTURA Y CIERRE DE CORTINAS

TIEMPO	ACTIVIDAD A REALIZAR
SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar el nivel de aceite del reductor, y si es necesario reponerlo.</li> <li>Revisar si existen posibles fugas de aceite.</li> </ul>
MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar la lubricación en corredera y juntas universales</li> <li>Verificar la correcta unión y conexión de los elementos tanto empernados como soldados</li> <li>Verificar el nivel de aceite de los motor-reductores</li> </ul>
SEMESTRAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión de partes soldadas</li> <li>Revisión de sujeción en soportes de motor-reductores y elementos conectados a este</li> </ul>

## 1.5.2 MANTENIMIENTO DE LA ETAPA DE CONTROL

TIEMPO	ACTIVIDAD A REALIZAR
MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar los mensajes de la pantalla del PLC LOGO!</li> <li>• Verificar que las luces piloto del tablero funcionen correctamente</li> <li>• Revisar que los motor-reductores se accionen correctamente</li> <li>• Verificar que los sensores de humedad estén calibrados correctamente</li> <li>• Aseo general</li> <li>• Revisión del cableado</li> <li>• Revisión de la fuente de respaldo</li> </ul>

## 1.5.3 MANTENIMIENTO GENERAL

El mantenimiento general se llevara a cabo observando los efectos de las averías presentadas en la instalación automatizada, considerando las posibles causas y actuación destinada para un funcionamiento correcto.

A continuación se presentan unas tablas con una lista de incidentes, causas detectadas y soluciones de los elementos de ENTRADA y SALIDA principales del sistema de control

ANÁLISIS DE INCIDENTES DE LOS ELEMENTOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA INSTALACIÓN		
INCIDENTE	CAUSAS DETECTADAS	SOLUCIÓN
UN SELECTOR NO FUNCIONA CORRECTAMENTE	- No reciben alimentación	- Seguir el cableado de la alimentación hasta dar con el efecto.
	- Está sucio y no puede operar bien	- Limpiarlo convenientemente.
	- Se calienta mucho	- Circula demasiada corriente por sus contactos o puede que la lámpara indicadora, si la lleva, esté en mal estado.
	- Está estropeado	- Sustituirlo.
	- No se acciona	- Inspeccionar el elemento

UN FINAL DE CARRERA O MICRORRUPTOR NO FUNCIONA CORRECTAMENTE	mecánicamente.	mecánico que debe accionarlo.
	- No recibe tensión en sus bornes.	- Inspeccionarla conexión.
	- Esta estropeado internamente.	- Reemplazarlo.
	- No recupera la posición porque tiene el muelle roto.	- Reemplazarlo.
UN DETECTOR INDUCTIVO O CAPACITIVO NO FUNCIONA CORRECTAMENTE	- No recibe alimentación.	- Seguir el cableado de la alimentación hasta dar con el efecto.
	- Esta sucio y no puede operar bien.	- Limpiarlo convenientemente.
	- Está estropeado	- Sustituirlo.
	- Está desalineado.	- Alinearlo y atornillarlo con fuerza.
	- Está más allá de su distancia de detención.	- Se debe de haber movido; hay que analizar las causas de este movimiento y sujetarlo mejor.
UN RELÉ NO SE ACTIVA	- Tiene la bobina rota o quemada.	- Sacarlo del zócalo o desconectarlo completamente y darle su tensión nominal.
	- No hace buen contacto con el zócalo.	- Ver si la brida de sujeción está rota o si hay vibraciones. Sujetarlo mejor.
	- No recibe suficiente tensión.	- Analizar por qué no la recibe siguiendo el circuito al que está conectado.
	- No recibe tensión.	- Comprobar todos los elementos que participan en dársela.
UN CONTACTOR NO SE ACTIVA	- Tiene la bobina rota o quemada.	- Desmontar la bobina y comprobarla con un ohmímetro.
	- Hace ruido de rateo	- Ver si la espira de sombra está rota.
	- No recibe suficiente tensión.	- Analizar por qué no la recibe siguiendo el circuito al que está conectado.
	- No recibe tensión.	- Comprobar todos los elementos que participan en dársela.
UN CONTACTOR SE CALIENTA EN EXCESO	- Demasiadas maniobras	- Preventivamente sustituirlo según una planificación relacionada con el número de maniobras máximo.
	- Corriente nominal excesiva.	- Reducir o cambiar los contactos por otros más robustos.
	- El entrehierro no cierra bien.	- Limpiar y mirar si hay objetos o partes internas que se hayan roto.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contactos deteriorados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustituirlos.</li> </ul>
EL RELÉ TÉRMICO HA ACTUADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El motor ha tenido problemas y ha consumido más corriente de la normal durante demasiado tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspeccionar si existe algún problema con la carga del motor o con el propio motor</li> </ul>
LOS FUSIBLES U OTRAS PROTECCIONES HAN ACTUADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ha habido un cortocircuito o una sobrecarga notable en la instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspeccionar los posibles elementos que no hayan ocasionado y si el cableado está en un buen estado.</li> </ul>
UNA LÁMPARA SEÑALIZADORA NO SE ILUMINA CUANDO DEBIERA HACERLO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está fundida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprobarla conectándola directamente a tensión.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lleva demasiadas maniobras de encendido-apagado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcularlas en función del régimen de la máquina.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ha superado el límite de horas de servicio indicadas por el fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultarlo en el catálogo del fabricante.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ha recibido una sobretensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se sospecha, se puede dejar un registro gráfico en paralelo con la lámpara durante días o semanas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los elementos que la deben accionar no operan correctamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe seguirse completamente el circuito de la lámpara y verificar el correcto funcionamiento de todos sus elementos.</li> </ul>
EL MOTOR NO GIRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está bloqueado mecánicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mirar si se trata de un bloqueo de la carga o del propio eje (cojinetes, juntas, entrehierro, etc.).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene los devanados quemados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rebobinar o sustituir según disponibilidad y coste.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ha actuado el término.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rearmar el térmico no sin antes valorar el porqué de su actuación.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No ha actuado el contador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posible avería en el contactor.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No ha recibido tensión de variador de frecuencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiar por qué el variador no ha actuado.</li> </ul>
EL MOTOR SE CALIENTA EN EXCESO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No a recibido tensión del arrancador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiar por qué el arrancador no ha actuado.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Girar en un sentido, pero no en el otro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar el contactor que da el sentido de giro que no se tiene.</li> </ul>

	- Falta una o dos fases.	- Analizar fusibles y protecciones.
	- Está mal conectado.	- Estudiar la conexión si es en estrella o triángulo.
	- Le llega más tensión de la que le corresponde.	- Analizar la causa midiendo las tensiones a lo largo de la línea.
	- Demasiada frecuencia.	- Si está conectado a un variador de frecuencia, estudiar disminuirla.
	- Demasiada carga mecánica.	- Estudiar si el dimensionado es correcto o han aumentado los rozamientos, fricciones o carga.
	- Defectos en los bobinados.	- Comprobar que no haya espiras en cortocircuito.

Fuente: Adaptado de (Centro de Estudios CEAC, 2007)