



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**“AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE LOS PROCESOS DE
REGADÍO Y SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL DE UN
PROTOTIPO DE INVERNADERO PARA LA ESCUELA
POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”**

**IVÁN PATRICIO CURICHO RONQUILLO
JORGE ROLANDO MASAPANTA GUILCAMAIGUA**

LATACUNGA-ECUADOR

NOVIEMBRE 2009

CERTIFICACIÓN

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores IVÁN PATRICIO CURICHO RONQUILLO y JORGE ROLANDO MASAPANTA GUILCAMAIGUA, previo a la obtención de su Título de Ingeniero Electrónico en Instrumentación.

Latacunga, noviembre del 2009

Ing. Marco Singaña
DIRECTOR

Ing. Fausto Tapia
CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Iván Patricio Curicho R. y Jorge Rolando Masapanta G.

DECLARAMOS QUE:

El Proyecto de Grado titulado “**AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE LOS PROCESOS DE REGADÍO Y SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL DE UN PROTOTIPO DE INVERNADERO PARA LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**” ha sido desarrollado en base a un profundo análisis e investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente el presente trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, noviembre del 2009.

Iván Curicho
Cl. No. 050265537-6

Jorge Masapanta
Cl. No. 050297503-0

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Iván Patricio Curicho R. y Jorge Rolando Masapanta G.

Autorizo a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO la publicación, en la Biblioteca Virtual de la Institución el Proyecto de Grado titulado **“AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE LOS PROCESOS DE REGADÍO Y SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL DE UN PROTOTIPO DE INVERNADERO PARA LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO”** cuyo contenido ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, noviembre del 2009.

Iván Curicho

Cl. No. 050265537-6

Jorge Masapanta

Cl. No. 050297503-0

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica del Ejército y a sus docentes por los conocimientos impartidos en sus aulas.

Agradecimientos a Don Juan Navas por sus consejos, al Centro de Producción de la Escuela Politécnica del Ejército en las personas de Don Enrique Mullo y Eduardo Barahona, gracias por prestarnos una mano.

A todos los que hicieron posible la culminación de esta etapa de mi vida.

Iván Patricio

DEDICATORIA

Primero a Dios por permitir mi existencia, a mi madrecita Elvia y mi padre Oswaldo que siempre han estado a lo largo de toda mi trayectoria universitaria dándome fuerza para no desmayar y seguir luchando, a mis hermanas Cristina Diana y Evelyn mi hermano Luis que siempre me dieron una mano para seguir, y a mis abuelitos y mis tíos que están lejos y día a día me dan un ejemplo de sacrificio y superación.

Iván Patricio

AGRADECIMIENTO

En la culminación de una etapa más de mi vida, creo que sobra nombrar a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para alcanzar este anhelo, ya que estoy convencido que el agradecimiento se lo lleva en el corazón y no en la escritura, se lo lleva en las acciones y no en los dichos.

A todas ellas, a quienes les llevo en lo mas profundo de mi corazón, en especial a mi Dios Jehová y a quien me dio la vida “mi madre”, ¡Muchas Gracias!

Jorge

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, a una persona símbolo de esfuerzo, sacrificio, constancia, dedicación y lucha; que a pesar de las adversidades no se rindió, y siempre creyó en mí; a ti “Alila”.

A mis queridos sobrinos Sebas y Micky que son mi mayor alegría y motivación.

Jorge

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 TIPOS DE INVERNADEROS.....	2
1.2.1 Introducción	2
1.2.2 Tipos	4
1.2.2.1 Invernadero túnel	4
1.2.2.2 Invernadero capilla	5
1.2.2.3 Invernadero en dientes de sierra.....	7
1.2.2.4 Invernadero tipo capilla modificado.....	8
1.2.2.5 Invernadero con techumbre curva.....	9
1.2.2.6 Invernadero tipo parral	10
1.2.2.7 Invernadero tipo venlo (holandés).....	12
1.3 CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADERO	13
1.3.1 Origen	13
1.3.2 Taxonomía y morfología	14
1.3.3 Importancia económica y distribución geográfica.....	15
1.3.4 Material vegetal.....	15
1.3.5 Clasificación de los principales cultivares.....	16
1.3.6 Requerimientos climáticos	16
1.3.6.1 Introducción.....	16
1.3.6.2 Temperatura.....	16
1.3.6.3 Iluminación	17
1.3.6.4 Ventilación y enriquecimiento en CO ₂	18
1.3.6.4.1 Introducción	18
1.3.6.4.2 Ventilación en invernaderos	18
1.3.7 Cultivo bajo invernadero	20

1.3.7.1 Preparación del suelo.....	20
1.3.7.2 Plantación.....	20
1.3.7.3 Fertirrigación	21
1.3.7.4 Formación de la planta y poda posterior	21
1.4 RIEGO	22
1.4.1 Introducción	22
1.4.2 Selección de los sistemas de riego.....	23
1.4.2.1 Riego superficial.....	25
1.4.2.2 Riego por aspersión	29
1.4.2.3 Riego por goteo.....	32
1.4.2.3.1 Sistema de riego por goteo.....	36
1.5 AUTOMATIZACIÓN EN INVERNADEROS.....	47
1.5.1 Elementos de la automatización en invernaderos	50
1.5.2 Métodos de programación del riego	52
1.5.2.1 Métodos basados en la medida del contenido de agua en el suelo ..	52
1.5.2.2 Métodos basados en la medida del estado hídrico del cultivo	53
1.5.2.3 Métodos basados en parámetros climáticos	53
1.6 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC´s.....	54
1.6.1 Automatización industrial	54
1.6.1.1 Tipos de automatización industrial	54
1.6.2 Autómatas programables o PLC´s.....	55
1.6.2.1 Funciones básicas de un PLC.....	57
1.6.2.2 Nuevas funciones.....	57
1.6.2.3 Estructura	59
1.6.2.4 Arquitectura	60
1.6.2.5 Software para la programación	65
1.6.2.6 Funcionamiento el autómata programable o PLC.....	66
1.6.2.7 Lenguajes de programación para PLC´s.....	67
1.7 SENSORES Y TRANSDUCTORES.....	69
1.7.1 Clasificación de los sensores.....	70
1.7.1.1 Sensores de Humedad.....	74
1.7.1.1.1 Sensores de Humedad de Suelo.....	77

1.7.1.2 Sensor de Viento (anemómetro)	79
1.8 REDES INDUSTRIALES.....	81
1.8.1 Ventajas de una red industrial	81
1.8.2 Beneficios de una red industrial.....	82
1.8.3 Niveles en una red industrial.....	82
1.8.3.1 Redes LAN industriales.....	84
1.8.3.2 Buses de campo.....	84
1.8.3.2.1 Ventajas de los buses de campo.....	86
1.8.3.2.2 Enlaces físicos de los buses de campo.....	87
1.8.3.2.3 Buses de campo más importantes	89
1.8.3.2.4 Buses estandarizados	91
CAPÍTULO II	ANÁLISIS Y DISEÑO
2.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA.....	108
2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	109
2.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL INVERNADERO.....	112
2.3.1 Factores a considerar para el diseño del sistema de invernadero	112
2.3.2 Diseño de la estructura	114
2.3.2.1 Selección del tipo de invernadero	114
2.3.2.2 Diseño de la ventilación	115
2.3.2.3 Dimensiones.....	116
2.3.2.4 Material.....	116
2.3.3 Ubicación	117
2.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES	117
2.4.1 Selección de tablero	117
2.4.2 Selección de motores eléctricos	118
2.4.2.1 Motor ventanas laterales (MV1-MV2).....	118
2.4.2.2 Motor regadío foliar (MF).....	119
2.4.2.3 Motor puerta (MP)	119
2.4.3 Selección de reductores	120
2.4.4 Selección de bomba (MB).....	121
2.4.5 Selección de electroválvulas (EVG-EVF)	122

2.4.6 Selección de sensores	122
2.4.6.1 Sensores de humedad de suelo (SHS1-SHS2)	122
2.4.6.2 Sensor de humedad relativa con trasmisor (SHR).....	123
2.4.6.3 Sensores de dirección de viento (SV)	124
2.4.6.4 Finales de carrera	125
2.4.7 Selección de relés, contactores, breakers y guardamotores	126
2.4.8 Selección de botoneras y luces piloto.....	130
2.5 DISEÑO DE HARDWARE	131
2.5.1 Diseño del hardware del PLC	131
2.5.1.1 Diseño de la CPU.....	132
2.5.1.2 Diseño de la fuente de DC	133
2.5.2 Diseño de acondicionamientos de sensores	134
2.5.2.1 Acondicionamiento del sensor de viento.....	134
2.5.2.2 Acondicionamiento del sensor de humedad de suelo.....	135
2.6 DISEÑO DE LA RED DE ENTRADA SALIDA	137
2.6.1 Diseño del OPC	137
2.6.2 Diseño de red AS-Interface.....	139
2.6.2.1 Diseño del maestro AS-Interface.	139
2.6.2.2 Diseño de esclavos digitales AS-Interface	140
2.6.2.3 Diseño de esclavos analógicos AS-Interface.....	143
2.6.2.4 Diseño del cable AS-Interface	144
2.6.2.5 Diseño de la fuente de alimentación AS-Interface	145
2.6.2.6 Diseño de la topología.....	146
2.6.2.7 Diseño de Distribuidores	146
2.6.2.8 Direccionamiento y parametrización de esclavos AS-i	148
2.7 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL	148
2.7.1 Configuración del asistente AS-i.....	149
2.7.2 Programación del riego.....	150
2.7.3 Programación del riego foliar	150
2.7.4 Programación del riego por goteo.....	151
2.7.5 Programación de la ventilación.....	151
2.7.6 Programación de las seguridades	152

2.8 DISEÑO DE LOS TABLEROS DE CONTROL	152
2.8.1 Disposición de los elementos	153
2.8.2 Botonera y dispositivo de señalización.....	154
2.8.3 Cableado.....	155
2.8.4 Puesta a tierra.....	156
2.8.5 Circuitos de seguridad	156
2.8.6 Alimentación	157
2.9 DISEÑO DE LAS INTERFACES HMI.....	157
2.9.1 Pantalla principal.....	158
2.9.2 Pantalla de supervisión.....	159
2.9.3 Pantalla de históricos.....	159
2.9.4 Alarmas.....	161
2.9.5 Pantalla de autores	162
CAPÍTULO III IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES	
3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.....	163
3.2 DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN	164
3.2.1 Hardware	172
3.2.1.1 Cableado de control	172
3.2.1.2 Cableado de la red AS-i	174
3.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES Y MEDICIONES.....	175
3.3.1 Pruebas experimentales de comunicación	175
3.3.2 Pruebas experimentales de protecciones eléctricas.....	178
3.3.3 Mediciones de variables del invernadero.....	179
3.4 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	180
3.4.1 Comunicación	180
3.4.2 Protecciones eléctricas	180
3.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	181
3.6 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO	183
3.6.1 Costo de los componentes y mano de obra del proyecto.....	183
3.6.2 Análisis del costo del proyecto.....	186

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.....	188
4.2 RECOMENDACIONES	191
BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Invernadero tipo túnel.....	5
Figura 1.2 Invernadero tipo capilla	6
Figura 1.3 Invernadero en dientes de sierra.....	7
Figura 1.4 Invernadero tipo capilla modificado.....	8
Figura 1.5 Invernadero con techumbre curva.....	9
Figura 1.6 Invernadero tipo parral	11
Figura 1.7 Invernadero tipo venlo.....	12
Figura 1.8 Rosas de diferentes colores.....	14
Figura 1.9. El ciclo hidrológico.....	22
Figura 1.10 Riego por inundación	27
Figura 1.11 Tipos de riego por inundación	28
Figura 1.12 Riego por aspersión	30
Figura 1.13 Componentes del sistema de riego por goteo.....	37
Figura 1.14 Válvulas.....	42
Figura 1.15 Tipos de emisores	46
Figura 1.16 Automatización en invernaderos	48
Figura 1.17 Sensores de medida	50
Figura 1.18 Actuadores	51
Figura 1.19. Ventanas laterales y cenitales.....	51
Figura 1.20 Evolución del contenido de agua del suelo.....	52
Figura 1.21 PLC (Programmable Logic Controller)	56
Figura 1.22 Diagrama de bloques de operación de un PLC	56
Figura 1.23 PLC compacto	59
Figura 1.24 PLC modular	60
Figura 1.25 Arquitectura general de un autómeta programable.....	61
Figura 1.26 Ciclo de funcionamiento del PLC	66
Figura 1.27 Lenguajes IEC 6113-3.....	67
Figura 1.28 Sensores “Todo o Nada” capacitivo, óptico e inductivo	71

Figura 1.29 Encoder	71
Figura 1.30 Sensor analógico (Sonda de temperatura)	71
Figura 1.31 Psicómetro	75
Figura 1.32 Elemento de cabello	75
Figura 1.33 Sensor capacitivo	77
Figura 1.34 Tensiómetro	78
Figura 1.35 Sensor Watermark	78
Figura 1.36 Anemómetro y posible conexión	79
Figura 1.37 Instalación inalámbrica para control de un toldo	80
Figura 1.38 Ubicación del sensor de viento	80
Figura 1.39 Niveles de una red industrial	83
Figura 1.40 Profibus en sus tres versiones FMS, DP y PA.....	91
Figura 1.41 Localización de Industrial Ethernet	99
Figura 1.42 Ubicación de AS-i en los niveles de automatización.....	100
Figura 1.43 Maestro AS-Interface: CP342-2 para SIMATIC S7-300.....	102
Figura 1.44 El arrancador de motor dentro la red AS-Interface	103
Figura 1.45 Cable AS-i	104
Figura 1.46 Fuentes de alimentación para AS-Interface	105
Figura 1.47 Ejemplo de conexión de la pasarela DP AS-i.....	106
Figura 1.48 Direccionador AS-Interface	107
Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema	111
Figura 2.2 invernadero techumbre curva con ventilación cenital	114
Figura 2.3 Circulación del viento en un invernadero	115
Figura 2.4 Sensores de humedad de suelo Watermark.....	123
Figura 2.5 Sensor de humedad relativa con transmisor incluido.....	124
Figura 2.6 Sensor de dirección de viento Davis 7911	125
Figura 2.7 Fuente SITOP 24V/5A.....	133
Figura 2.8 Diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de viento ...	134
Figura 2.9 Diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de humedad de suelo	136
Figura 2.10 Comunicación con PG/PC.....	137
Figura 2.11 Contenidos en el área del servidor OPC.....	138

Figura 2.12 Esclavos digitales AS-Interface para campo.....	140
Figura 2.13 Esclavos digitales para tablero.....	142
Figura 2.14. Esclavo analógico	144
Figura 2.15 Cable AS-Interface	145
Figura 2.16 Fuente AS-i	146
Figura 2.17 Derivación de red	147
Figura 2.18 Distribuidor K45.....	147
Figura 2.19 Asistente AS-i.....	150
Figura 2.20 Pantalla principal	158
Figura 2.21 Pantalla de supervisión	159
Figura 2.22 Históricos de humedad de suelo	160
Figura 2.23 Históricos de humedad relativa.....	160
Figura 2.24 Históricos de Dirección de viento.....	161
Figura 2.25 Alarmas del sistema	161
Figura 2.26 Pantalla de autores	162
Figura 3.1 Vista general del tablero eléctrico	165
Figura 3.2 Cubículos del tablero eléctrico, a) control, b) potencia	166
Figura 3.3 Vista interior de los dispositivos de control	167
Figura 3.4 Vista interior de los dispositivos de potencia.....	167
Figura 3.5 Dispositivos de mando y señalización.....	168
Figura 3.6 Invernadero y parte estructural	168
Figura 3.7 Esclavos análogos y digitales para campo AS-i K60	169
Figura 3.8 Acondicionamientos de sensores.....	169
Figura 3.9 Sensor de dirección de viento	170
Figura 3.10 Sensores de humedad de suelo.....	170
Figura 3.11 Sensor de humedad relativa	171
Figura 3.12 Final de carrera	171
Figura 3.13 Electroválvula.....	171
Figura 3.14 Bomba eléctrica.....	172
Figura 3.15 Vista interior de cableado del tablero	173
Figura 3.16 Cableado de la fuente SITOP	173
Figura 3.17 Cableado red AS-i.....	174

Figura 3.18 Comunicación del STEP 7-Micro/WIN con PLC en estado óptimo.	175
Figura 3.19 Comunicación del PLC y el servidor OPC S7-200 PC Access en estado óptimo	176
Figura 3.20 Comunicación del servidor OPC S7-200 PC Access y WinCC flexible en estado óptimo	177

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Condiciones que facilitan la aplicación de riego.....	24
Tabla 1.2 Comparación de los métodos de riego.....	25
Tabla 1.3 Características técnicas de Profibus	92
Tabla 1.4 Características técnicas de Profibus DP, FMS y PA	94
Tabla 2.1 Dimensiones del invernadero	116
Tabla 2.2 Espesor de tubos del invernadero	116
Tabla 2.3 Dimensiones del cuadro eléctrico.....	118
Tabla 2.4 Resultados del proceso de selección de los finales de carrera.....	126
Tabla 2.5 Resultados del proceso de selección de los contactores.....	128
Tabla 2.6 Resultados del proceso de selección de los relés.....	129
Tabla 2.7 Resultados del proceso de selección de los guardamotores	129
Tabla 2.8 Resultados del proceso de selección de los interruptores termomagnéticos	129
Tabla 2.9 Resultados del proceso de selección de los dispositivos de señalización	130
Tabla 2.10 Resultados del proceso de selección de los dispositivos de mando.	131
Tabla 2.11 Requerimientos básicos de la CPU.....	132
Tabla 2.12 Requerimientos Entradas de la CPU.....	132
Tabla 2.13 Requerimientos Salidas de la CPU	132
Tabla 2.14 Características de la fuente de alimentación.....	133
Tabla 2.15 Requerimiento maestro AS-Interface	139
Tabla 2.16 Requerimiento esclavos digitales AS-Interface para campo	140
Tabla 2.17 Entradas/salidas de Esclavo digital para campo	141
Tabla 2.18 Requerimiento de esclavos digitales AS-Interface para tablero.....	141

Tabla 2.19 Entradas/salidas de esclavo digital para tablero.	142
Tabla 2.20 Requerimiento esclavos analógicos AS-Interface	143
Tabla 2.21 Entradas/salidas esclavos para esclavos analógicos.....	144
Tabla 2.22 Requerimiento para fuente AS-Interface	145
Tabla 2.23 Dirección de los esclavos AS-i utilizados en el proyecto.....	148
Tabla 3.1 Parámetros seleccionados para la transmisión.....	175
Tabla 3.2 Comunicación entre el PLC y el servidor OPC.....	176
Tabla 3.3 Comunicación entre WinCC flexible y el servidor OPC.....	177
Tabla 3.4 Estado de la comunicación de los esclavos de la red AS-i	178
Tabla 3.5 Pruebas experimentales de Protecciones.....	179
Tabla 3.6 Mediciones de las variables del invernadero.....	179
Tabla 3.7 Costo de los componentes	185
Tabla 3.8 Costo de mano de obra del proyecto	186

INTRODUCCIÓN

“La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia”.

John Ruskin

La industria agrícola en el Ecuador se encuentra en un proceso de tecnificación, con el fin de mejorar la productividad y así tener mejores réditos económicos.

El presente proyecto desarrollado e implementado, brinda en parte, una solución a los diferentes problemas y falencias que aquejan a la mayoría de invernaderos de la zona centro del país. Para ello se optó por automatizar el riego por goteo y foliar, el control de la ventilación natural, todo esto a través del bus de campo AS-Interface con el propósito reducir el cableado y a la vez implementar nueva tecnología para adquisición de datos desde campo.

Tomando como referencia lo expuesto anteriormente se ha dividido el proyecto cuatro capítulos:

En el capítulo I, Fundamentos, se presenta el marco teórico referente al proyecto: conceptos básicos acerca de invernaderos, riego, ventilación y automatización en la industria agrícola.

En el capítulo II, Análisis y Diseño, se muestra detalladamente el diseño del hardware y software del sistema, además la selección de componentes, que se ajusta a los requerimientos del proyecto.

En el capítulo III, se muestran los resultados obtenidos; las pruebas experimentales de: comunicación y protecciones eléctricas, a fin de comprobar el correcto funcionamiento del sistema. Además se indica el análisis técnico-económico del proyecto.

Finalmente en el capítulo IV, se exponen las conclusiones y recomendaciones recopiladas a lo largo de la ejecución del proyecto, mismas que podrán aportar con trabajos similares que se desarrollen posteriormente.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La industria florícola del país se ha convertido en una actividad muy importante que con el pasar de los años se ha consolidado en el mercado norteamericano y en Europa, lo cual ha contribuido a generar empleo y divisas en el país, activando ciertos polos de desarrollo local.

Las principales zonas productoras de flores se encuentran en las provincias de Pichincha y Cotopaxi; le siguen en importancia las provincias de Azuay, Imbabura y Guayas; finalmente en el grupo de provincias con alguna producción de flores se incluyen entre otras las provincias de Tungurahua, Carchi, Cañar y Chimborazo.

La zona centro de la Sierra es muy propensa a variaciones de temperatura, especialmente por las noches, donde se generan los fenómenos climáticos conocidos como “heladas”. Las consecuencias de las heladas son graves, especialmente en la agricultura.

La Escuela Politécnica del Ejército, preocupada por el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a solucionar problemas de la sociedad, se encuentra

desarrollando un sistema automatizado que permita disminuir los problemas y pérdidas de producción ocasionados por las heladas.

Otros problemas que enfrentan la mayoría de florícolas del centro del país son:

- El riego se lo realiza manualmente de acuerdo a la experiencia y criterio del personal encargado.
- La apertura y cierre de puertas y ventanas es de forma manual, de acuerdo a la experiencia del personal.
- No existen indicadores exactos humedad relativa.
- No existen sensores humedad de suelo que respalden el criterio del técnico.
- No existe un registro (base de datos) de los valores de humedad que puedan servir de soporte para decisiones técnicas.

Frente a este problema, la ESPE requiere realizar la automatización de los procesos de regadío (goteo, foliar) y sistema de ventilación natural que ayuden a contrarrestar los problemas antes mencionados, lo cual será un complemento del proyecto antiheladas.

1.2 TIPOS DE INVERNADEROS¹

1.2.1 Introducción

La obtención de mayores precios de venta para sus productos constituye una preocupación y desafío permanente para cualquier agricultor. Este aspecto se relaciona básicamente con dos factores en la venta; una salida al mercado en un período de baja oferta y consecuentemente con mayores precios, y/o una mayor calidad de los productos cosechados.

¹ http://www.agrobit.com/Info_tecnica/alternativos/horticultura/al_000010ho.htm#1-Invernadero%20T%FAnel:

La dificultad y necesidad de obtener producciones fuera de época, se soluciona cultivando estas especies bajo la protección de invernaderos, en circunstancias en que estas mismas cosechas al aire libre, no serían posible dada las desfavorables condiciones climáticas del medio externo.

El invernadero, así como otros sistemas de protección de cultivos, tales como cortavientos, acolchados, túneles, etc., permiten justamente controlar los factores climáticos en el que se desarrolla el cultivo. Un desarrollo óptimo y equilibrado de los vegetales, depende de la incidencia favorable de factores tales como la temperatura, humedad y luminosidad, entre otros.

En términos generales, se denomina invernadero a aquella estructura de cierta altura, de madera o metal, provista de una cubierta transparente a la luz solar, para que ingrese esta radiación y cumpla con los requerimientos fotosintéticos y de calor; y que, a su vez, deje escapar la menor cantidad de energía, de modo que este balance positivo permita modificar el ambiente interno a fin de hacer posible y ventajoso el crecimiento y desarrollo de plantas en su interior.

En ocasiones, los invernaderos están dotados de sistemas que permiten un aporte adicional de calor en determinadas épocas o momentos, así como también de otros elementos que permiten regular determinados componentes del medio climático, como sistemas de iluminación artificial suplementaria, aporte adicional de anhídrido carbónico, o simplemente ventilación.

Las cubiertas utilizadas tienen, en distinto grado, la propiedad de permitir el paso de la luz e impedir la salida del calor, lo cual se conoce como “efecto invernadero”. Durante el día, el efecto invernadero es evidente, sobretodo en días fríos. En la noche la temperatura interior, especialmente en aquellos con cubierta de polietileno, tiende a disminuir hasta casi igualarse con la temperatura exterior, brindando muy poca protección en caso de heladas. Incluso puede ocurrir que con una cubierta de polietileno normal y bajo ciertas condiciones una inversión térmica; en donde la temperatura interior descienda más que la exterior.

El aumento de la temperatura diurna en el invernadero, es lo que permite cultivar plantas fuera de estación; producciones tempranas o primores de especies exigentes en temperatura.

1.2.2 Tipos

Puede intentarse una clasificación según diferentes criterios (por ej., materiales para la construcción, tipo de material de cobertura característica, características de la techumbre, etc.), no obstante, se prefiere enumerar los más importantes obviando algunas características para su clasificación.

Dentro de los tipos de invernaderos más comunes en el mundo se encuentran:

- Invernadero túnel
- Invernadero capilla (a dos aguas)
- Invernaderos en diente de sierra
- Invernadero capilla modificado
- Invernadero con techumbre curva
- Invernadero tipo parral
- Invernadero holandés

1.2.2.1 Invernadero túnel

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un macrotúnel, por no existir un parámetro definido. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, se puede definir como invernadero aquella estructura que supera los $2,75 \text{ m}^3$ por m^2 . Se trata de invernaderos que tienen una altura y anchura variables.

Dimensiones. En la Figura 1.1.

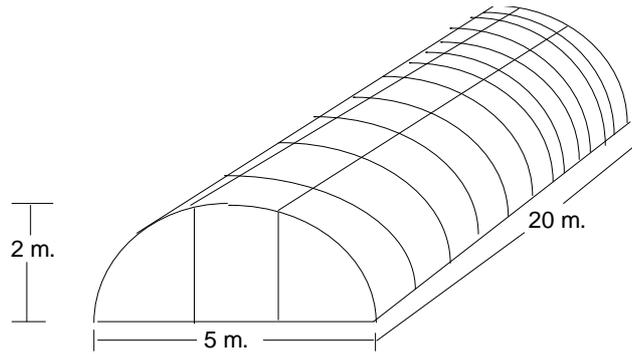


Figura 1.1 Invernadero tipo túnel

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas e inconvenientes:

Ventajas

- Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido).
- Alta transmisión de la luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

Desventajas

- Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
- Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.).

1.2.2.2 Invernadero capilla

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos (Figura 1.2).

La pendiente del techo (cambio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15 y 35°). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12 m (incluso mayores), por largo variable. Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5 m y la de cumbre 3,0-3,5 m (también se construyen más bajos que los señalados pero no son recomendables).

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultades, tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías.

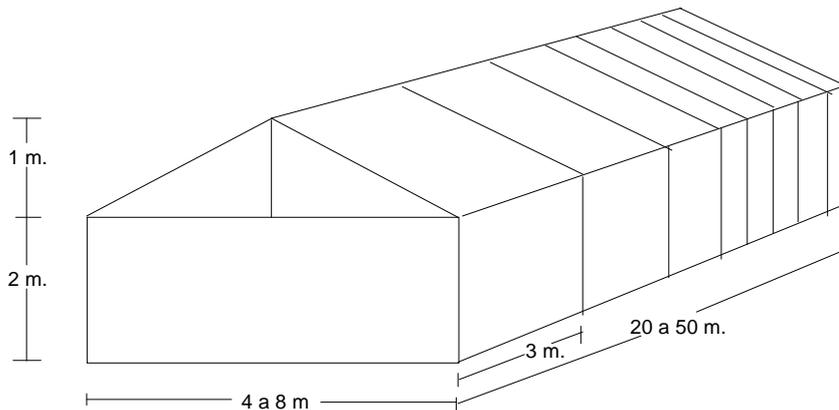


Figura 1.2 Invernadero tipo capilla

Ventajas

- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales con bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucaliptos, pinos etc.).
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

Desventajas

- Problemas de ventilación con invernaderos en baterías.
- A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.
- Mayor número de elementos que disminuyen la transmitancia (mayor sombreo).
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo.

1.2.2.3 Invernadero en dientes de sierra

Una variación de los invernaderos capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente.

Estos invernaderos contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (Figura 1.3).

El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como dientes de sierra. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos.

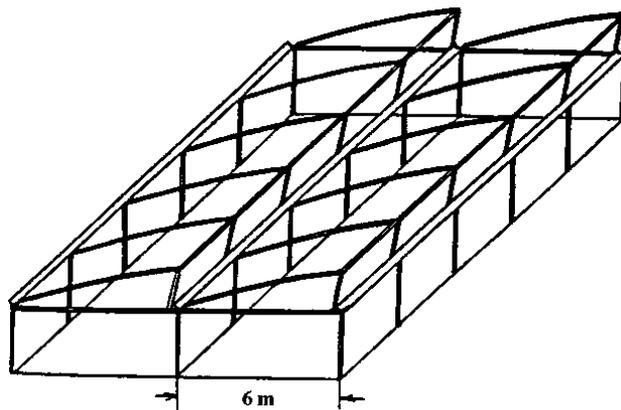


Figura 1.3 Invernadero en dientes de sierra

Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.
- Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).

Desventajas

- Sombreo mucho mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén).
- Menor volumen de aire encerrado que el tipo capilla.

1.2.2.4 Invernadero tipo capilla modificado

Se trata de una variante de los tipos capilla. La modificación respecto al tipo capilla, consiste en el ensamble a diferentes alturas de cada cambio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital (Figura 1.4).

Las dimensiones más comunes de estos invernaderos son:

- Ancho de cada módulo: 6,0 m.
- Altura lateral: 2,4 m.
- Altura cenital: 3,6 m.
- Abertura cenital: 0,3-0,5 m.

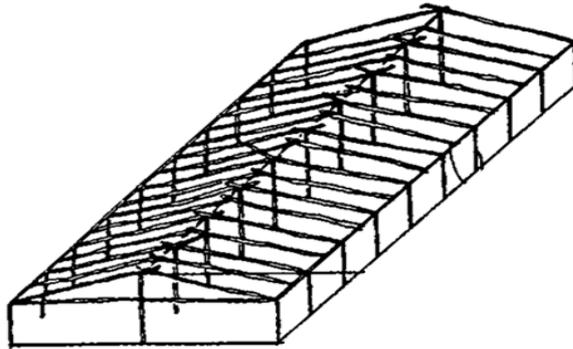


Figura 1.4 Invernadero tipo capilla modificado

Los postes se plantan cada 2,0 m, tanto en el lateral como en la parte central, utilizándose postes sulfatados o bien, impregnados con brea al menos en los 0,40-0,60 m que van enterrados.

Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.
- Excelente ventilación (al igual que el diente de sierra), siendo muy adecuados para la conformación de baterías.
- Empleo de materiales de bajo costo.

Desventajas

- Sombreo mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén), pero menor que diente de sierra.
- A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.

1.2.2.5 Invernadero con techumbre curva

Este tipo de invernaderos tienen su origen en los invernaderos-túneles. Por lo común son de tipo metálicos (caños de 2" a 2,5" de diámetro o bien perfiles triangulares con hierro redondo trefilado de 8-10 mm de diámetro), también hay con techumbres metálicas y postes de madera.

Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (i, e, circulares, semielípticos, medio punto, ojivales, etc.), tal como se indica en la Figura 1.5. Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0-8,0 m de ancho por largo variable.

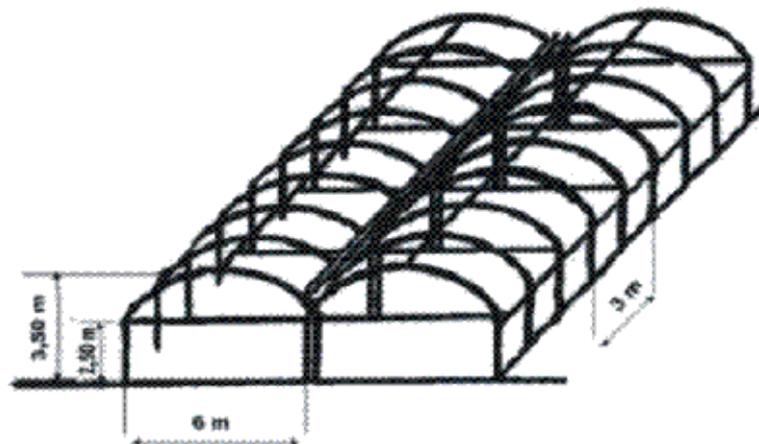


Figura 1.5 Invernadero con techumbre curva

Ventajas

- Junto con los invernaderos tipo túnel, es el de más alta transmitancia a la luz solar.
- Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).
- Buena resistencia frente a los vientos.
- Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamiento, laboreo mecanizado, conducción de cultivos, etc.).
- Construcción de mediana a baja complejidad (debido a la disponibilidad de los elementos prefabricados).

Desventajas

- Tienen la misma limitante que los tipo capilla, cuando deben acoplarse en batería (de no poseer algún sistema de ventilación cenital).
- Plantea la necesidad de no superar los 25-30 m de ancho (de invernaderos acoplados), debido a las dificultades para ventilación.

1.2.2.6 Invernadero tipo parral

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), de palos y alambres, denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa.

Actualmente existe una versión moderna a los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión o aún, siendo reemplazados también éstos por muertos enterrados, para sujeción de los vientos, constituidos por doble alambre de calibre número 8.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbrera de 3,0-3,5 m, la anchura variable, pudiendo oscilar en 20 m. o más, por largo variable.

La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10° - 15° , lo que representa altura de los laterales del orden de 2,0-2,3 m. Se ventila solamente a través de las aberturas laterales. En la techumbre solo se utiliza un doble entramado de alambre, por entre el cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción (Figura 1.6).

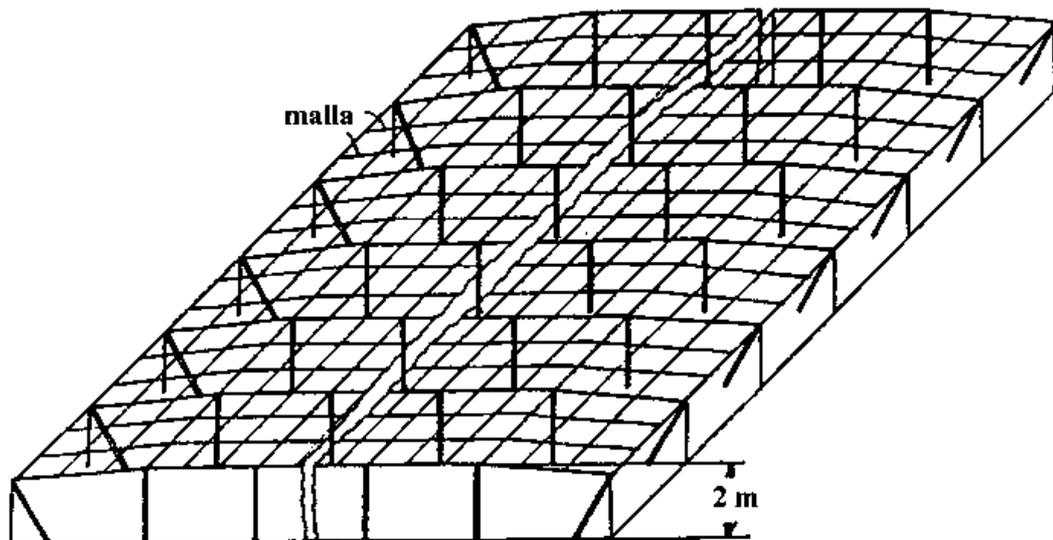


Figura 1.6 Invernadero tipo parral

Ventajas

- Gran volumen de aire encerrado (buen comportamiento según la inercia térmica).
- Despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la intercepción de la luz.
- Aún tratándose de una estructura que ofrece alta resistencia a los vientos, es poco vulnerable por el eficiente sistema de anclaje.

Desventajas

- Deficiente ventilación.
- Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).
- Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).

- En zonas de baja radiación, la escasa pendiente del techo representa una baja captación de la luz solar.

1.2.2.7 Invernadero tipo venlo (holandés)

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m.

Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación). En su lugar, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho (Figura 1.7).



Figura 1.7 Invernadero tipo venlo

Ventajas

- Mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales rígidos).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.

Desventajas

- Alto costo.
- La transmitancia se ve afectada, no por el material de cobertura, sino por el importante número de elementos de sostén (debido al peso del material de cubierta).
- Al tratarse de un material rígido, con duración de varios años, resulta afectado por la transmisibilidad de polvo, algas, etc.

1.3 CULTIVO DE ROSAS EN INVERNADERO²

1.3.1 Origen

La rosa era considerada como símbolo de belleza por babilonios, sirios, egipcios, romanos y griegos.

Aproximadamente 200 especies botánicas de rosas son nativas del hemisferio norte, aunque no se conoce la cantidad real, debido a la existencia de poblaciones híbridas en estado silvestre.

Las primeras rosas cultivadas eran de floración estival, hasta que posteriores trabajos de selección y mejora realizados en Oriente sobre algunas especies, fundamentalmente rosa gigantea y rosa chinensis dieron como resultado la "rosa

²http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_rosal.pdf

de té" de carácter refloreciente. Esta rosa fue introducida en occidente en el año 1793 sirviendo de base a numerosos híbridos creados desde esta fecha.

1.3.2 Taxonomía y morfología

Pertenece a la familia Rosaceae, cuyo nombre científico es *Rosa* sp.³

Actualmente, las variedades comerciales de rosa son híbridos de especies de rosa desaparecidas. Para flor cortada se utilizan los tipos de té híbrida y en menor medida los de floribunda. Los primeros presentan largos tallos y atractivas flores dispuestas individualmente o con algunos capullos laterales, de tamaño mediano o grande y numerosos pétalos que forman un cono central visible.

Los rosales floribunda presentan flores en racimos, de las cuales algunas pueden abrirse simultáneamente. Las flores se presentan en una amplia gama de colores: rojo, blanco, rosa, amarillo, lavanda, etc., con diversos matices y sombras. Éstas nacen en tallos espinosos y verticales. En la Figura 1.8 se muestra rosas de diferentes colores.



Figura 1.8 Rosas de diferentes colores

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Rosa>

1.3.3 Importancia económica y distribución geográfica⁴

Las flores más vendidas en el mundo son, en primer lugar las rosas, seguidas por los crisantemos, tercero los tulipanes, cuarto los claveles y en quinto lugar los liliun. Ninguna flor ornamental ha sido y es tan estimada como la rosa. A partir de la década de los 90 su liderazgo se ha consolidado debido principalmente a una mejora de las variedades, ampliación de la oferta durante todo el año y a su creciente demanda.

Sus principales mercados de consumo son Europa, Estados Unidos y Japón.

Se trata de un cultivo muy especializado que ocupa 1000 ha de invernadero en Italia, 920 ha en Holanda, 540 ha en Francia, 250 en España, 220 en Israel y 200 ha en Alemania.

En América se ha incrementado la producción de rosa, los principales países productores son Ecuador, Colombia y México.

En Japón, primer mercado de consumo en Asia, la superficie destinada al cultivo de rosas va en aumento; y en la India, se cultivan en la actualidad 100 ha.

1.3.4 Material vegetal

Las cualidades deseadas de las rosas para corte, según los gustos y exigencias del mercado en cada momento, son:

- Tallo largo y rígido: 50-70 cm, según zonas de cultivo.
- Follaje verde brillante.
- Flores: apertura lenta, buena conservación en florero.
- Buena floración (= rendimiento por pie o por m²).

⁴http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_rosal.pdf

- Buena resistencia a las enfermedades.
- Posibilidad de ser cultivados a temperaturas más bajas, en invierno.
- Aptitud para el cultivo sin suelo.

1.3.5 Clasificación de los principales cultivares

- Rosas grandes (80% de la producción).
- Rojas (40-60% de la demanda): First Red, Dallas, Royal Red, Grand Gala, Koba, Red Velvet.
- Rosas (20-40% de la demanda): Anna, Noblesse, Vivaldi, Sonia, Omega, Versilla.
- Amarillas (en aumento): Golden Times, Texas, Starlite, Live, Cocktail 80.
- Naranjas (en aumento): Pareo.
- Blancas: Virginia, Tineke, Ariana.
- Bicolores: Candia, Simona, Prophyta, La Minuette.
- Multiflores (spray): Mini, Golden Mini, Lidia (rosa), Nikita (rosa).

1.3.6 Requerimientos climáticos

1.3.6.1 Introducción

Las condiciones climáticas permiten mejores rendimientos de calidad en la producción especialmente por la ubicación geográfica con respecto al sol, que favorece la condición fenotípica de los tallos, esto es la calidad del producto en largo de tallos; gran tamaño del botón, colores intensos, cualidades que han provisto al producto ecuatoriano de una diferenciación competitiva con respecto a otros países productores.

1.3.6.2 Temperatura

Para la mayoría de los cultivares de rosa, las temperaturas óptimas de crecimiento son de 17 °C a 25 °C, con una mínima de 15 °C durante la noche y

una máxima de 28 °C durante el día. Pueden mantenerse valores ligeramente inferiores o superiores durante períodos relativamente cortos sin que se produzcan serios daños, pero una temperatura nocturna continuamente por debajo de 15 °C retrasa el crecimiento de la planta, produce flores con gran número de pétalos y deformes, en el caso que se abran. Temperaturas excesivamente elevadas también dañan la producción, apareciendo flores más pequeñas de lo normal, con escasos pétalos y de color más cálido.

1.3.6.3 Iluminación

El índice de crecimiento para la mayoría de los cultivares de rosa sigue la curva total de luz a lo largo del año. Así, en los meses de verano, cuando prevalecen elevadas intensidades luminosas y larga duración del día, la producción de flores es más alta que durante los meses de invierno.⁵

Una práctica muy utilizada en Holanda consiste en una irradiación durante 16 horas, con un nivel de iluminación de hasta 3.000 lux (lámparas de vapor de sodio), pues de este modo se mejora la producción invernal en calidad y cantidad.

No obstante, a pesar de tratarse de una planta de día largo, es necesario el sombreo u oscurecimiento durante el verano e incluso la primavera y el otoño, dependiendo de la climatología del lugar, ya que elevadas intensidades luminosas van acompañadas de un calor intenso. La primera aplicación del oscurecimiento deberá ser ligera, de modo que el cambio de la intensidad luminosa sea progresivo.

Se ha comprobado que en lugares con días nublados y nevadas durante el invierno, podría ser ventajosa la iluminación artificial de las rosas, debido a un aumento de la producción, aunque siempre hay que estudiar los aspectos económicos para determinar la rentabilidad.

⁵ <http://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>, España

1.3.6.4 Ventilación y enriquecimiento en CO₂

1.3.6.4.1 Introducción

En muchas zonas las temperaturas durante las primeras horas del día son demasiado bajas para ventilar y, sin embargo, los niveles de CO₂ (Dióxido de Carbono) son limitantes para el crecimiento de la planta. Bajo condiciones de invierno en climas fríos donde la ventilación diurna no es económicamente rentable, es necesario aportar CO₂ para el crecimiento óptimo de la planta, elevando los niveles a 1000 ppm. Asimismo, si el cierre de la ventilación se efectúa antes del atardecer, a causa del descenso de la temperatura, los niveles de dióxido de carbono siguen reduciéndose debido a la actividad fotosintética de las plantas.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que las rosas requieren una humedad ambiental relativamente elevada, que se regula mediante la ventilación y la nebulización o el humedecimiento de los pasillos durante las horas más cálidas del día.

La aireación debe poder regularse, de forma manual o automática, abriendo las ventilaciones laterales y las cumbres, apoyándose en ocasiones con ventiladores interiores o incluso con extractores. Ya que así se produce una bajada de la humedad relativa y el control de ciertas enfermedades.

1.3.6.4.2 Ventilación en invernaderos⁶

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada.

⁶ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico3.htm

i) Ventilación natural o pasiva

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de un sistema de ventanas que permiten la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas y a reducir el nivel higrométrico.

Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre, o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero. Se admite que una ventana cenital de una determinada superficie resulta a efectos de aireación hasta ocho veces más efectiva que otra situada lateralmente de igual superficie. Normalmente las ventanas deben ocupar entre un 18 y 22% de la superficie de los invernaderos, teniendo en cuenta que con anchuras superiores a los 20 m. será imprescindible disponer de ventilación cenital que mejore la aireación lateral.

La apertura y cierre de las ventanas suele hacerse mecánicamente a través de un sistema de cremalleras, accionado eléctricamente por un termostato, aunque también puede hacerse manualmente.

ii) Ventilación mecánica o forzada

Los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero, y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior, pero su control es más preciso que el que se logra con la ventilación pasiva.

1.3.7 Cultivo bajo invernadero⁷

Con el cultivo de rosa bajo invernadero se consigue producir flor en épocas y lugares en los que de otra forma no sería posible, consiguiendo los mejores precios. Para ello, estos invernaderos deben cumplir unas condiciones mínimas: tener grandes dimensiones, la transmisión de luz debe ser adecuada, la altura tiene que ser considerable y la ventilación en los meses calurosos debe ser buena. Además, es recomendable la calefacción durante el invierno, junto con la instalación de mantas térmicas para la conservación del calor durante la noche.

1.3.7.1 Preparación del suelo

Para el cultivo de rosas el suelo debe estar bien drenado y aireado para evitar encharcamientos, por lo que los suelos que no cumplan estas condiciones deben mejorarse en este sentido, pudiendo emplear diversos materiales orgánicos.

Las rosas toleran un suelo ácido, aunque el pH debe mantenerse en torno a 6. No toleran elevados niveles de calcio, desarrollándose rápidamente las clorosis debido al exceso de este elemento. Tampoco soportan elevados suelos salinos.

La desinfección del suelo puede llevarse a cabo con calor u otro tratamiento que cubra las exigencias del cultivo. En caso de realizarse fertilización de fondo, es necesario un análisis de suelo previo.

1.3.7.2 Plantación

La época para plantar es cuando se compra material vegetal, debido a que se lo hace en invernadero y está protegido contra la mayoría de agentes climáticos externos. En cuanto a la distancia de plantación en 4 filas con espaciamentos de 60 x 15 cm o en la modalidad de 2 filas 40 x 20 ó 60 x 12,5 cm con pasillos al

⁷http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_rosal.pdf

menos de 1 m, esto arroja una densidad de 6 a 8 plantas/m². De este modo se consigue un mantenimiento más sencillo y menores inversiones.

1.3.7.3 Fertirrigación

Actualmente la fertilización se realiza a través de riego, teniendo en cuenta el abonado de fondo que se aportó al principio del ciclo de cultivo, en caso de haberse realizado. Posteriormente también es conveniente controlar los parámetros de pH y conductividad eléctrica de la solución del suelo, así como la realización de análisis foliares.

El pH puede regularse con la adición de ácido, y teniendo en cuenta la naturaleza de los fertilizantes. Así, por ejemplo, las fuentes de nitrógeno como el nitrato de amonio y el sulfato de amonio, son altamente ácidas; mientras que el nitrato cálcico y el nitrato potásico son abonos de reacción alcalina.

Si el pH del suelo tiende a aumentar, la aplicación de sulfato de hierro da buenos resultados. El potasio suele aplicarse como nitrato de potasio, el fósforo como ácido fosfórico o fosfato monopotásico y el magnesio como sulfato de magnesio.

1.3.7.4 Formación de la planta y poda posterior

Los arbustos de dos años ya tienen formada la estructura principal de las ramas y su plantación debe realizarse de forma que el injerto de yema quede a nivel del suelo o enterrado cerca de la superficie.

Las primeras floraciones tenderán a producirse sobre brotes relativamente cortos y lo que se buscará será la producción de ramas y más follaje antes que se establezca la floración, para lo cual se separan las primeras yemas florales tan pronto como son visibles.

El riego se aplica para lograr los siguientes objetivos principales:

1. Suministrar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos.
2. Asegurar un abasto suficiente de agua durante sequías de corta duración y clima impredecible.
3. Disolver sales del suelo.
4. Como medio para aplicar agroquímicos.
5. Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
6. Activar ciertos agentes químicos.
7. Generar beneficios operacionales.

El agua de riego es un componente muy importante en el ciclo hidrológico (Figura 1.9) y contribuye a abastecer las fuentes y el almacenamiento de agua.

1.4.2 Selección de los sistemas de riego

El riego puede realizarse de diferentes formas: Por inundación, surcos, infiltración, subterráneo, aspersion, por goteo.

Es, por supuesto, necesario elegir un tipo de sistema de riego antes que se pueda proceder al diseño, especificación del equipo e instalación. Para realizar un trabajo adecuado en la selección del sistema; hay que considerar cuidadosamente tanto el medio ambiente en el que debe funcionar el sistema, como las capacidades y limitaciones de todas las alternativas potenciales. En la selección de un sistema de riego, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos (Tablas 1.1 y 1.2):

1. Los cultivos y prácticas relacionadas: tipo, profundidad de raíces, consumo de agua, hábitos de desarrollo de plagas.
2. Características del suelo: textura y estructura, profundidad y uniformidad; velocidad de infiltración y potencial de erosión; salinidad y desagüe interno;

topografía-pendiente y grado de irregularidad.

3. Abasto de agua: fuente, cantidad disponible y confiabilidad, calidad, sólidos en suspensión y análisis químico.
4. Valor y disponibilidad de la tierra.
5. Limitaciones y obstrucciones de inundación.
6. Nivel freático.
7. Condiciones climatológicas.
8. Disponibilidad y confiabilidad de la energía.
9. Consideraciones económicas: inversión de capital requerida, disponibilidad de créditos y tasa de interés, duración del equipo y costos anualizados, inflación y costos, factores de rendimiento.
10. Tecnología disponible.
11. Consideraciones sociales: asuntos políticos y legales, cooperación de las dependencias y habitantes, disponibilidad y confiabilidad de la mano de obra, nivel de conocimiento y especialización de la mano de obra, expectativas del gobierno y habitantes, nivel del control automático deseado, potencial de daño por vandalismo, y asuntos sobre la salud.

Método de riego				
Condiciones	Inundación	Surcos	Aspersión	Goteo
Topografía	Moderado a Irregular	Moderada	Irregular	Irregular
Permeabilidad del suelo	Buena	Buena	De excesiva a Buena	De excesiva a buena
Erosionabilidad	Alta	Alta	Baja	Baja
Característica de los cultivos	Sembrados a Voleo	Cultivo en Hilera	Cultivo Valioso	Cultivo valioso
Carga hidráulica	Alta	Alta	Moderada	Baja

Tabla 1.1 Condiciones que facilitan la aplicación de riego

TÓPICO	Riego por inundación	Riego por surcos	Riego por aspersión	Riego por goteo
Pérdida por evaporación	Alta	Alta	Mediana	Mínima
Humedecimiento del follaje	Alto	Mediano	Alto	Mínimo
Consumo de agua por yerbajos	Alto	Alto	Alto	Mínimo
Escurrimiento superficial	Alto	Alto	Mediano	Mínimo
Control en la profundidad de riego	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
Rendimiento por unidad de agua aplicada	Mínimo	Mínimo	Mediano	Alto
Uniformidad en el rendimiento	Poco	Mediano	Mediana	Alta
Aeración del suelo	Mínimo	Poca	Poca	Alta
Interferencia del riego con otras tareas	Alta	Alta	Alta	Baja
Aplicación del abono y plaguicidas a través del agua de riego	Mínima	Mínima	Moderada	Alta
Costos de operación y mano de obra	Bajo	Bajo	Moderado	Alto
Requerimiento de nivelación del terreno	Alto	Alto	Bajo	Mínimo
Automatización del sistema	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Requerimientos de energía	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Calidad de agua	Mínima	Mínima	Moderado	Alto
Uso de filtros	Mínimo	Mínima	Moderado	Alto
Control de enfermedades y plagas	Mínimo	Mínimo	Moderado	Alto

Tabla 1.2 Comparación de los métodos de riego

1.4.2.1 Riego superficial

En el caso del riego superficial, el agua corre sobre la superficie de la tierra proporcionando a las plantas la humedad necesaria para su desarrollo. Sus componentes básicos son: Fuente de agua, líneas de abastecimientos, mecanismo de control, represas o bordes de control, surcos de riego, sistema de drenaje y sistema de reutilización del agua (opcional).

Las líneas de abastecimientos pueden ser tubos de PVC o entubado flexible (lay-flat); también pueden ser canales abiertos de tierra, asfalto, hormigón, o plástico, hierro.

Además de las tuberías y cauces abiertos se utilizan otras estructuras complementarias: Túneles (para acortar los canales en derivación); saltos y rápidos (para reducir la energía de la corriente sin que produzca erosión y para reducir la velocidad del agua respectivamente) y sifones invertidos (para cruzar depresiones del terreno).

Los mecanismos de control pueden ser medidores de flujos como orificios, reloj para tubos (manual y automático), métodos "porshall", vertederos, molinete para canales. Para el control se incluyen las llaves de pasos y compuertas.

i) Riego por bordes a nivel

En el riego por bordes, se aplica el agua a un área a nivel, rodeada por diques o caballones. Cada área individual regada está completamente a nivel, sin pendientes hacia ninguna dirección. No es necesario que los bordes sean rectangulares o rectos, ni tampoco que los diques en los bordes sean permanentes. A esta técnica de riego también se le llama: "Eras niveladas para inundación o riego en eras (fajas) con caballones".

El tamaño de los bordes depende del caudal de agua disponible, la topografía, el suelo y el grado de nivelación requerido. El tamaño fluctúa de unos cuantos metros cuadrados a 15 hectáreas, aproximadamente. Una ventaja del riego por borde a nivel, es que el regador necesita suministrar únicamente un volumen específico de agua. El riego por borde es más efectivo en suelos uniformes y nivelados con precisión. Es posible alcanzar altos rendimiento con bajos requisitos de mano de obra.

ii) Riego por inundación

Éste es el sistema tradicional más antiguo y más utilizado en la agricultura. Se adapta para siembras extensas y no propensas a enfermedades que se desarrollan por exceso de humedad. Consiste, en llevar agua de pozos profundos o corrientes superficiales (ríos, lagos, estanques, etc.), hasta los puntos de mayor elevación de la finca, para de allí utilizarla en el regadío. Este tipo de riego

requiere que los campos estén preparados con un desnivel que oscile entre 3% y 6% para que el agua corra lentamente y llegue a la parte más baja de la finca como se muestra en las Figuras 1.10 y 1.11, donde se recogerá por canales (drenajes) para eliminarla o volverla a usar.

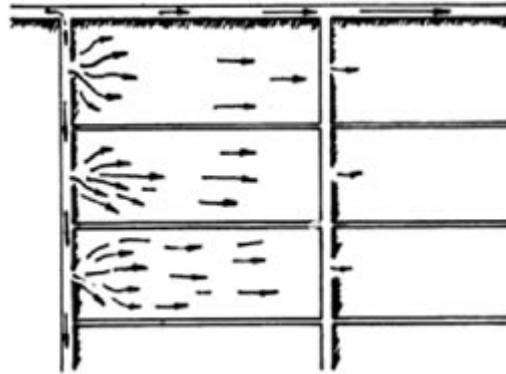


Figura 1.10a. Inundación periódica

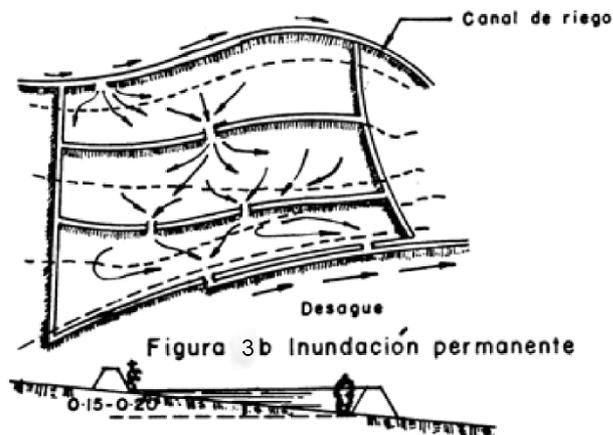


Figura 3b Inundación permanente

Figura 1.10b. Inundación permanente

Figura 1.10 Riego por inundación

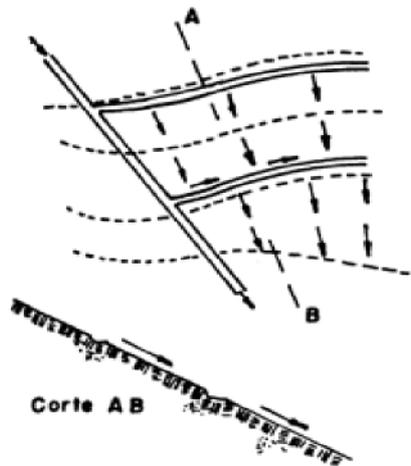


Figura 1.11a. Inundación simple.

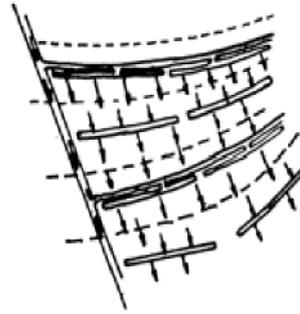


Figura 1.11b. Inundación múltiple



Figura 1.11c. Inundación para cultivo en terraza

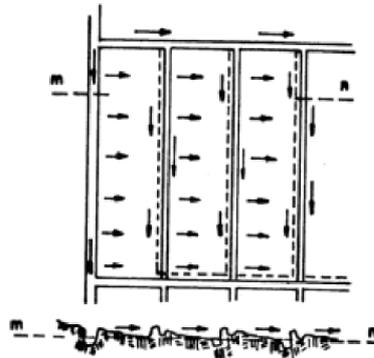


Figura 1.11d. Zanjas simples

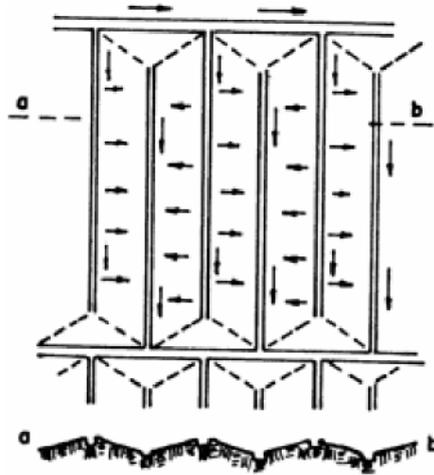


Figura 1.11e. Zanjas dobles

Figura 1.11 Tipos de riego por inundación

1.4.2.2 Riego por aspersión

El sistema de riego por aspersión se desarrolló después de la segunda guerra mundial con la introducción de tuberías de aluminios livianos y movibles. Al mismo tiempo aspersores mejorados y acopladores rápidos para facilitar el conectar y desconectar los tubos, estaban disponibles. En el sistema de riego por aspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma parecida a la lluvia. Dicha aspersión se obtiene al impulsar agua a presión, a través de pequeños orificios o boquillas; generalmente la presión se obtiene por bombeo, aunque puede lograrse por gravedad.

Los primeros sistemas utilizados a gran escala consistían de laterales movibles a mano y aspersores de impactos rotativos, con dos líneas seguidas de laterales. Más tarde con la necesidad creciente de economizar trabajo y agua, surgieron los sistemas fijos a "solid-set". Los sistemas permanentes o solid-set instalados en plantaciones y huertas, consistían en laterales plásticos colocados entre o a lo largo de las hileras de árboles, y rociadores de una baja razón de flujo o mini aspersores.

Se desarrollaron aspersores gigantes o de cañones montados en carretones, facilitándose de esta forma una cobertura rápida en áreas extensas, inclusive las que recibían riego suplementario.

La automatización simple se lleva a cabo mediante el uso de válvulas volumétricas que se ajustan para suministrar un volumen de agua deseado y luego se apagan automáticamente. A un nivel más avanzado, las válvulas pueden funcionar a una secuencia predeterminada. Aun más refinado, es el uso de unidades de control en el campo, para encender y apagar las válvulas mediante electricidad según un horario establecido. Finalmente, varios campos se pueden regar conectando las unidades de campo a una "unidad central maestra" la cual se acciona por computadora.

Aunque los aspersores han aumentado en popularidad, en regadíos predominan los métodos de superficie.

Como se observa en la Figura 1.12 los componentes básicos de cualquier sistema de aspersión son: Una fuente de donde proviene el agua, una bomba para proveer la presión necesaria, una a más líneas principales para distribuirla a todo el campo, aspersores para rociarla sobre el suelo y válvulas para controlar el flujo.

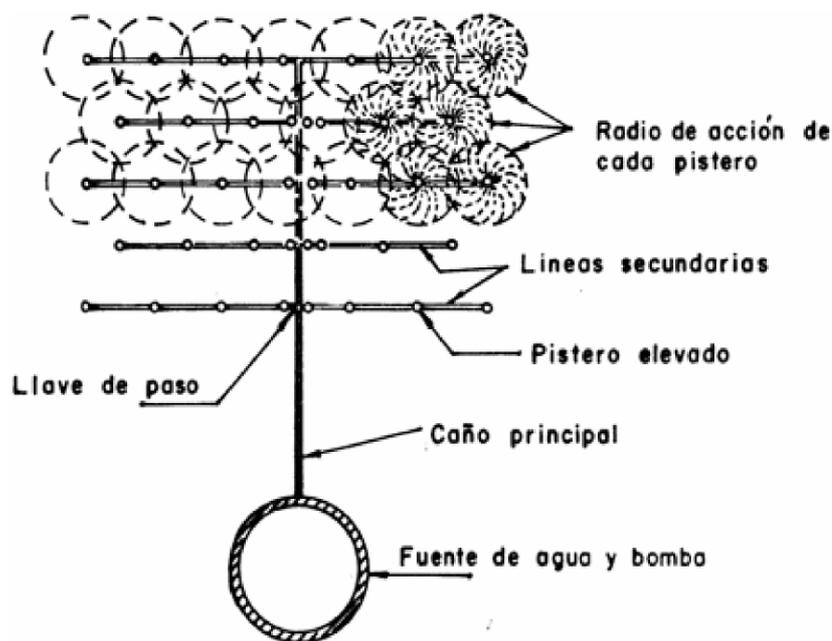


Figura 1.12 Riego por aspersión

Ventajas:

1. No se necesita ninguna preparación de la superficie a regar; puede emplearse con la misma facilidad sobre terrenos de topografía accidentada, sobre terrenos llanos.
2. Permite el cultivo de la totalidad del terreno.
3. Ofrece gran flexibilidad en diseño porque hay gran variedad de equipo disponible.

4. Puede emplearse en cualquier tipo de suelo, inclusive en los muy permeables.
5. Generalmente es más eficiente que el riego superficial.
6. Se economiza más agua en comparación con el riego superficial.
7. El riego por aspersión no requiere ninguna destreza particular del regador.
8. Se ajusta muy bien a riego suplementario y se usa para comenzar nuevas cosechas, protección contra heladas y contra el calor.
9. El uso de tubería portátil reduce el costo del equipo, como también facilita su remoción del campo para otras labores.
10. Se pueden aplicar fertilizantes eficientemente, por el sistema de aspersión.
11. En lugares de mucho viento, este sistema provee protección en contra de erosión.
12. El sistema radicular de las plantas se desarrolla mejor que con el riego superficial.
13. Los costos de mano de obra son, por lo general, más bajos que los de métodos superficiales.
14. El aforo del agua es más fácil con el sistema de aspersión.
15. El rendimiento de aplicación es mayor.
16. Es posible realizar aplicaciones frecuentes y de pequeños volúmenes, cuando sea necesario.
17. Pone a la disposición de los regadores condiciones de riego muy flexibles, las instalaciones suelen ser individuales o de interés local sin producir dificultades técnicas o financieras como ocurre con otros sistemas.

Desventajas:

1. Costo inicial elevado. Este inconveniente puede ser menos importante de lo que se cree habitualmente. En efecto, las inversiones necesarias para la instalación compiten actualmente con el acondicionamiento eficiente de cualquier otro método de riego. El costo del material y los gastos de colocación pueden compensarse por la eliminación de los trabajos de movimiento de tierra y los gastos de conservación.

2. La evaporación es más intensa, pues las gotas son más finas y el aire más seco. Esto se puede contrarrestar en gran medida regando por la noche.
3. En climas cálidos y donde el agua tiene un alto contenido de sal, cuando se riega con presiones altas, se le puede ocasionar daño a los cultivos.
4. Puede provocar incidencia de enfermedades foliares en cultivos susceptibles. Algunos cultivos pueden sufrir la pérdida de flores debido al impacto del agua. Sin embargo, existen tipos de aspersores que subsanan este defecto.
5. Las boquillas suelen obstruirse evitando que los aspersores no giren. Esto se debe a la basura que entra en el agua o a la que se recoge al acoplar los tubos.
6. Las aspersiones realizadas a los cultivos para el combate de plagas y enfermedades, si no se toman las debidas precauciones se pueden lavar. También hay interferencia con la polinización.
7. El viento interfiere según la forma en que se hace la distribución, reduciendo su extensión o aumentando la cantidad aplicada cerca del tubo lateral.

1.4.2.3 Riego por goteo

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficaces que se ha diseñado para usar el agua en los cultivos agrícolas. Este sistema se ha utilizado mucho en las regiones áridas del mundo.

El riego por goteo es la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo, mediante emisores o goteros localizados en puntos específicos a lo largo de unas líneas distribuidoras de agua. El agua emitida se mueve a través del suelo mayormente por flujo no saturado. De este modo se mantienen unas condiciones favorables de humedad en la zona de las raíces de las plantas y se propicia su desarrollo óptimo.

Se cree que el riego por goteo se empezó a usar en 1950, cuando un ingeniero israelí observó que un árbol cerca de un grifo, que goteaba agua, mostraba un crecimiento más vigoroso que los otros árboles del área. Sin embargo, el origen del concepto básico de riego por goteo puede remontarse a 1860 en Alemania, cuando se desarrolló un sistema de riego por goteo soterrado. Como parte del desarrollo de este sistema se realizaron trabajos en los Estados Unidos a partir del 1913. Para 1920, en Alemania se utilizaron tubos perforados; pero no fue hasta el desarrollo de los tubos plásticos, durante y después de la segunda guerra mundial, que el riego por goteo empezó a ser económicamente aceptable.

El riego por goteo ayudará a fortalecer la agricultura y a incrementar la eficiencia en la producción de alimentos. Con este sistema se podrán utilizar plenamente los recursos naturales del suelo, agua y clima.

El término riego por goteo se conoce en inglés como “daily irrigation”, “trickle irrigation”, “daily flow irrigation” o “microirrigation”. El término “trickle” se originó en Inglaterra, “drip” en Israel y “daily flow” en Australia. La diferencia es sólo en el nombre, y todos se refieren a lo mismo. Hay tres formas generales en que el agua fluye en un sistema de riego por goteo:

1. Fluye continuamente a lo largo de la línea lateral.
2. Salta o gotea de un emisor o surtidor conectado a la lateral.
3. Salta o gotea a través de orificios perforados en la lateral.

Ventajas

Un sistema de riego por goteo bien diseñado puede ayudar a las cosechas de frutas, hortalizas y de otras cosechas en los siguientes aspectos:

A. Uso eficiente del agua:

1. Reduce las pérdidas directas por evaporación.
2. No causa humedecimiento del follaje.

3. No causa movimiento de gotas de agua por efecto del aire.
4. Inhibe el crecimiento del consumo de agua de yerbajos.
5. Elimina el escurrimiento superficial.
6. Permite regar todo el predio hasta los bordes.
7. Permite aplicar el riego a una profundidad exacta.
8. Permite regar mayor área de terreno con una cantidad de agua específica.

B. Reacción de la planta:

1. Aumenta el rendimiento por unidad (hectárea-centímetro) de agua aplicada.
2. Mejora la calidad de la cosecha.
3. Permite obtener un rendimiento más uniforme.

C. Ambiente de la raíz:

1. Mejora la aireación.
2. Aumenta la provisión de nutrientes disponibles.
3. Crea una condición casi constante de retención de agua a baja tensión el suelo.

D. Combate las plagas y enfermedades:

1. Aumenta la eficiencia de las aspiraciones de plaguicidas.
2. Reduce el desarrollo de insectos y de enfermedades.

E. Corrección de sanidad:

1. El aumento en sales ocurre a una distancia mayor de la planta.
2. Reduce los problemas de salinidad. Se consigue mayor reducción aumentado el flujo de agua.

F. Combate de malezas:

1. Reduce el crecimiento de malezas en el espacio húmedo sombreado.

G. Práctica y efectos agronómicos:

1. Las actividades del riego no interfieren con las del cultivo, las aspersiones y la cosecha.
2. Reduce la necesidad de cultivo, ya que hay menos malezas, endurecimiento superficial y compactación.
3. Ayuda a controlar la erosión.
4. Permite aplicar el abono con el agua de riego.
5. Aumenta la eficiencia del trabajo en huertos frutales al mantener los espacios entre las hileras, secos y nivelados.

H. Beneficios económicos:

1. El costo es bajo comparado con otros sistemas permanentes.
2. Los costos de operación y mantenimiento son, a menudo, bajos. Los costos son altos cuando la distancia media del terreno es de menos de 3m.
3. Se puede usar en terrenos accidentados.

4. La eficiencia de aplicación es alta. Permite utilizar tubería de menos diámetro y requiere menos fuerza propulsora.

Desventajas

1. El riego por goteo, al igual que los demás métodos de riego, no pueden ajustarse a todas las cosechas, sitios y objetivos específicos.
2. Entre los problemas potenciales o limitaciones del sistema se pueden mencionar las siguientes:
 - Los pequeños goteros se obstruyen fácilmente con partículas de suelo, algas o minerales.
 - La distribución de humedad en el suelo es limitada. El volumen de humedad depende de la descarga del gotero, distancia entre los goteros y el tipo de suelo.
 - Los roedores o insectos pueden dañar algunos componentes del sistema.
 - Se requiere un manejo más cuidadoso que en otros sistemas de riego.
 - La inversión inicial y los costos anuales pueden ser mayores en comparación con otros métodos.

1.4.2.3.1 Sistema de riego por goteo⁹

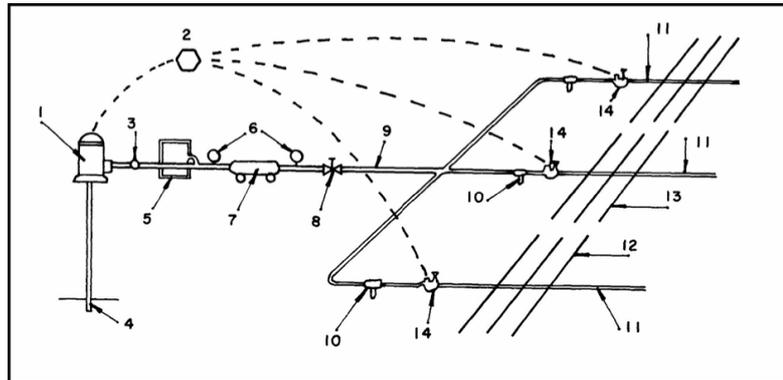
Los componentes principales de un sistema de riego por goteo son (Figura 1.13):

- a) La fuente de agua.
- b) La bomba y la unidad de energía.
- c) El sistema de filtración.

⁹ http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap06goteo.pdf

- d) El sistema de inyección de químicos.
- e) El sistema de controles.
- f) El sistema de distribución de agua.
- g) Los goteros o emisores.

Accesorios necesarios para un sistema de riego por goteo son: llave de pase, tapón, válvula de seguridad, válvula de drenaje, unión, adaptador, reducido, te, codo, doble unión y cruz.



- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1. Bomba | 8. Llave de paso |
| 2. Control | 9. Línea principal |
| 3. Válvula de seguridad | 10. Filtro secundario |
| 4. Fuente de agua | 11. Línea secundaria |
| 5. Inyector de fertilizantes | 12. Línea de surtidores |
| 6. Relojes de presión | 13. Surtidores ó goteros |
| 7. Filtro primario | 14. Válvula solenoide |

Figura 1.13 Componentes del sistema de riego por goteo

a) La fuente de agua

Puede consistir de aguas tratadas, agua de pozo, canales, ríos y lagos. El agua limpia es esencial en el riego por goteo. Si se utiliza agua de pobre calidad, los contaminantes físicos y las sustancias químicas o biológicas pueden obstruir las líneas y los emisores.

El agua subterránea de pozos es generalmente de buena calidad. En algunos casos puede contener arena o precipitados de sustancias químicas.

El agua superficial de lagos, ríos y canales se puede utilizar; pero tiene la desventaja de la contaminación con bacterias, algas y otros organismos.

Casi todas las fuentes de agua contienen bacterias y elementos que la nutren. Se necesita de un buen sistema de filtración para remover todos los contaminantes que pueden perjudicar el sistema de riego por goteo.

b) Las bombas y las unidades de energía

Las bombas y las unidades de energía representan una parte significativa del costo inicial de un sistema de riego por goteo. Por consiguiente al seleccionar el equipo correcto, conviene conocer las características y garantías de operación. Se debe adquirir un equipo de bomba y unidad de energía eficaz, confiable y de bajo precio.

Una bomba centrífuga es la más adecuada para extraer agua de fuentes superficiales o pozos llanos. También se puede usar para subir la presión de una línea. La bomba centrífuga es relativamente barata y eficiente. También es buena para una amplia gama de capacidades y presiones.

Para seleccionar una bomba se debe conocer la presión total del sistema, el volumen de agua que se necesita y la fuerza de la unidad. La presión total que el sistema pueda imponer a la bomba depende de los siguientes factores:

1. El tope de elevación: diferencia de la elevación entre la fuente de agua y el surtidor que se encuentra a una mayor altura en el terreno que se debe regar.

2. El tope de fricción: la presión requerida en el surtidor más distante. Conviene tener en cuenta que la descarga de la bomba se reduce a medida que la presión de operación aumenta.

Una bomba de una capacidad ligeramente mayor que la necesaria puede asegurar suficiente agua para enviarla por el sistema con una presión un poco mayor.

Así garantiza una buena uniformidad de la aplicación.

i) Unidades de fuerza

En el sistema de riego por goteo, los motores eléctricos son preferibles porque son más fáciles de automatizar, operan silenciosamente y necesitan poco mantenimiento.

Los motores de gasolina o diesel pueden operar con diferentes velocidades lo que facilita las variaciones pequeñas en la presión y el volumen de agua que se aplica.

c) El sistema de filtración

Uno de los factores más importantes en el uso exitoso del riego por goteo es la filtración del agua. El propósito básico de cualquier sistema de filtración es eliminar sólidos o partículas de materias del agua de riego y evitar problemas que la obstrucción pueda causar. El agua limpia o libre de contaminantes es de vital importancia para el mejor funcionamiento del riego por goteo. Un procedimiento de filtración adecuado es requisito indispensable, porque raras veces se encuentra fuentes de aguas libres de materias en suspensión.

Las obstrucciones parciales o totales que diferentes agentes de naturaleza física, química o biológica causan, pueden poner el sistema de riego por goteo fuera de

servicio y causar pérdidas a la cosecha; y por ende, pérdidas económicas al agricultor. Por tanto, la selección de un sistema de filtración adecuado debe ser una de las primeras consideraciones al diseñar e instalar un sistema de riego por goteo.

La filtración en un sistema de riego por goteo puede realizarse por medio de filtros de gravedad y filtros de presión.

d) El sistema de inyección de químicos

Hace varias décadas que surgió la idea de aplicar abono mediante el sistema de riego. En los últimos años se adoptó la aplicación de químicos por medio del sistema de riego por goteo. Esta forma de aplicación originó la terminología fertigación, cloración, plaguigación, insectigación, fungigación, nemagación y herbigación. Como consecuencia el término quimigación se adoptó para incluir la aplicación de los químicos por medio de los sistemas de riego. La quimigación ofrece una serie de ventajas económicas en comparación con los demás métodos convencionales, a saber:

1. Provee uniformidad en la aplicación de los químicos permitiendo la distribución de éstos en cantidades pequeñas durante la época de crecimiento cuando y donde son necesarios.
2. Reduce la compactación del suelo y el daño químico a la cosecha.
3. Disminuye la cantidad de químicos usados en las cosechas y el peligro de aplicarlos.
4. Reduce la contaminación del ambiente.
5. Reduce los costos de trabajo, equipo y energía.

Para conseguir una mayor eficacia y disminuir los problemas de obstrucción en las líneas de gotero, filtros o cualquier otra parte del sistema, se recomienda efectuar un análisis químico y mecánico de la fuente de agua que se ha de utilizar. Si el análisis químico muestra una alta concentración de sales, también

puede haber problemas de obstrucción. Por tanto, se recomienda evitar usar materiales químicos que puedan causar precipitados.

Para una mayor eficacia en la aplicación, los químicos deben distribuirse uniformemente alrededor de las plantas. La uniformidad de la distribución depende de:

1. La eficacia de la mezcla.
2. La uniformidad de la aplicación del agua.
3. Las características del flujo.
4. Los elementos o compuestos químicos presentes en el suelo.

e) Sistema de controles

Introducción

Es fundamental que la instalación deba tener un buen sistema que garantice la presión, el caudal, el tiempo etc. Todo ello lo realizan las válvulas, tensiómetros y reguladores de caudal que son los que contribuyen con su eficacia al mejor aprovechamiento de la instalación.

i) La válvula volumétrica

Es particularmente importante medir la cantidad de agua que se aplica y para manejar los sistemas permanentes (Figura 1.14).

ii) El reloj (indicador de presión)

Se recomienda para medir la presión en el sistema de riego por goteo. Es especialmente importante cuando los goteros no compensan los cambios en la presión. Conviene instalar los indicadores para controlar las pérdidas de presión en el filtro y la presión de operación en cada línea secundaria. Los intervalos de

presión de reloj deben igualar con la presión del sistema a fin de que se pueda leer bien.

Instalado en las líneas secundarias de este dispositivo, compensa los cambios de elevación o las pérdidas de fricción en las líneas. Los reguladores de presión pueden ser fijos o ajustables.

iii) El regulador de presión

Las válvulas manuales, las válvulas automáticas y los controles de tiempo se recomiendan para la línea secundaria. Las válvulas automáticas de flujo están diseñadas para proveer un grado de flujo. Además, se utilizan para reducir las variaciones en la presión entre los laterales en un terreno desnivelado. Las combinaciones de reguladores de presión y válvulas de control de flujo están también disponibles, tal como se indica en la Figura 1.14.

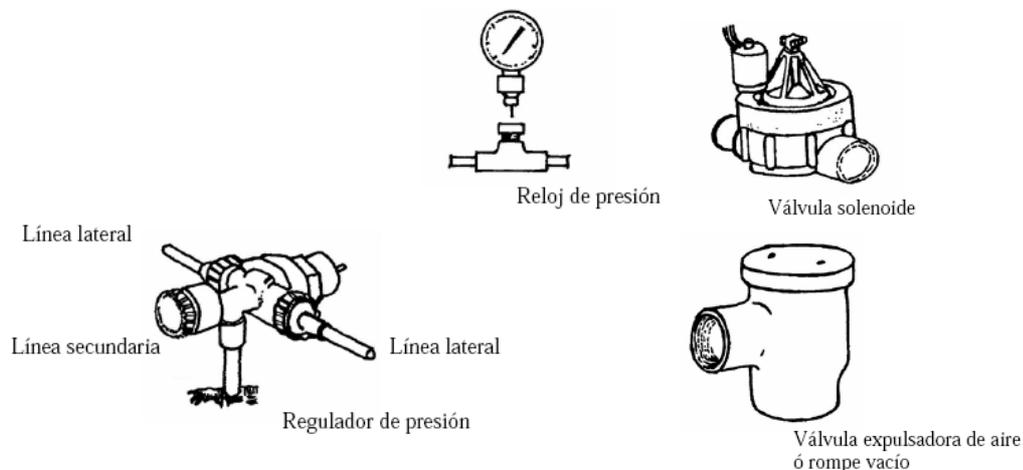


Figura 1.14 Válvulas

iv) Rompevacío

Este componente es importante en los sistemas de riego por goteo. Las presiones negativas que se desarrollan cuando el sistema se detiene pueden obstruir los goteros si se succiona el agua sucia al sistema por medio de los goteros. Se

recomienda un rompevacío de una pulgada de cada 25 gpm¹⁰ de flujo. Las válvulas de limpieza al final de cada línea lateral ayudan en la limpieza del sistema.

f) Sistema de distribución de agua¹¹

La distribución de agua es trabajo de los ramales y tubos de tamaño graduado (Figura1.15). Se puede distribuir el agua de la bomba hasta el campo por medio de un ramal principal. Los ramales secundarios de menor grosor llevan el agua desde los ramales principales a los laterales con los goteros para aplicar el agua a las plantas. Los ramales principales pueden ser rígidos de PVC, hierro galvanizado o polietileno. Deben ser enterrados a por lo menos 0.6 metros (2 pies) para prevenir daños mecánicos durante las operaciones de campo.

Comúnmente se utilizan los ramales de polietileno de 12 a 16 centímetros (aprox. 2½”) de diámetro para los laterales. Estos ramales laterales le proveen agua a la superficie del suelo por medio de los goteros. Las mangas de polietileno están disponibles en diferentes tamaños y grados. Algunos fabricantes producen diferentes grados resistentes a las condiciones del tiempo. Son especialmente deseables para las aplicaciones de riego.

i) El terreno desnivelado

El desnivel del terreno es un punto importante que se debe tener en cuenta en el diseño. Cada cambio en la elevación produce un efecto en la ganancia o pérdida de presión. Un cambio en elevación de 2.3 pies, causa un cambio en la presión de un psi. En un terreno nivelado o casi nivelado las líneas laterales de goteo deben correr a lo largo de las hileras. En terrenos ondulados las líneas de goteo deben trazarse al contorno. Para instalar un sistema en terreno con desnivel conviene consultar a un especialista en esta materia. Cuando se diseñan los ramales de laterales con goteros en sitios ondulados, vale tener en cuenta la ventaja de la

10 GPM = Flujo de agua, expresados en galones por minuto.

11 http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap06goteo.pdf

pendiente. Así se balancea la energía ganada con la caída de elevación. Sin embargo, a veces, para mantener la presión uniforme en las pendientes sobre cinco por ciento de desnivel, se pueden utilizar laterales más cortas, emisores que compensen la presión o instalar reguladores de presión.

ii) La limpieza de los ramales

El mantenimiento y limpieza de los ramales principales, secundarios y laterales es indispensable para el buen funcionamiento de un sistema de riego por goteo. Algunos filtros atrapan las partículas más grandes como arcilla y arena que entran al sistema. Con la velocidad del agua el tamaño de algunas partículas se reduce y pasan a través del filtro llegando a los ramales secundarios y laterales. Estas partículas pequeñas tienden a asentarse en los ramales y causan obstrucciones. Si el sedimento es de 50 ppm, un sistema de operaciones se tardaría más de 140 horas para llenar hasta la mitad los últimos 46 metros del ramal lateral. Con un filtro ordinario la cantidad de sólidos suspendidos en el agua es mayor. Por tanto, mayor será la cantidad de material en el ramal. Algunas partículas combinadas con cierto tipo de limo y bacterias forman unas aglomeraciones que causan obstrucciones en los goteros.

La limpieza periódica en los ramales elimina dichas obstrucciones. El ramal principal y el secundario deben tener un largo suficiente al final para producir una velocidad de flujo que sirva de limpieza o descarga. En los ramales laterales, la velocidad de flujo debe ser de 30 metros/seg., que es la adecuada para la limpieza. Se limpia primero el ramal principal, luego el secundario, y por último, los ramales laterales. Solamente se abren varios ramales al mismo tiempo cuando la presión de agua es adecuada. Si la presión no se puede sostener con todos los ramales abiertos, se abren solamente algunos.

El tiempo de limpieza debe ser suficiente hasta que el agua que corre fuera esté limpia. Un programa regular de inspección, mantenimiento y limpieza ayuda mucho a prevenir las obstrucciones de los emisores. La naturaleza del sistema de

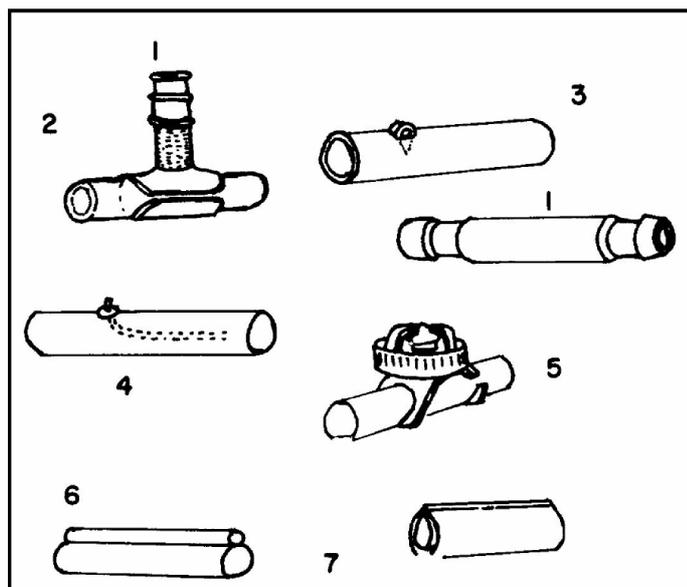
filtración, la calidad del agua y la experiencia determinan cuando es necesario limpiar los ramales. El mantenimiento debe ser cuando el sistema de riego por goteo está libre de servicio. Esta práctica de mantenimiento ayuda a prevenir daños por sedimentos alojados en los ramales y obstrucciones a los goteros cuando el agua vuelva a fluir por el sistema. También ayuda a prevenir formaciones de limo, además de evitar que las hormigas e insectos invadan el sistema.

g) Los goteros o emisores

Los dispositivos de emisión de agua (goteros) son únicos para el sistema de riego por goteo. Los goteros descargan agua en pequeñas cantidades a través de unos orificios pequeños. La reducción en la presión a través de los emisores debe ser lo suficientemente mayor para contrarrestar la diferencia de presión que la topografía y las pérdidas de fricción causan. El orificio de goteo debe ser lo suficientemente grande para prevenir serias obstrucciones. Estas contradicciones en las exigencias de diseño han promovido la manufactura de varias clases de dispositivos de emisión. Los goteros se pueden dividir en dos categorías (Figura 1.15) que se afincan en las aplicaciones en el campo:

1. Goteros perforados en el ramal.
2. Goteros adaptados al ramal de goteo.

El gotero perforado en el ramal se utiliza para el cultivo en hileras a corta distancia; como por ejemplo, hortalizas y algunas frutas. También se puede utilizar para el riego en el invernadero. El gotero consiste en una serie de perforaciones igualmente espaciadas a lo largo de un tubo de pared sencilla o doble. El grado de descarga se da usualmente en litros por minuto, por unidad de largo, y fluctúa desde tres a cuatro (3 a 4) litros por minuto por 30 m de línea.



1. Emisores colocados en la línea.
2. Emisor proyectado.
3. Emisor de chorro.
4. Microtubo (spaghetti).
5. Emisor compensador de presión.
6. La línea de goteo (baja presión).
7. Doble pared.

Figura 1.15 Tipos de emisores

La presión de operación de estos goteros fluctúa desde 2 a 30 psi. Sin embargo, la mayoría opera a menos de 15 psi. La tubería se instala con ramales hasta de 90 m. de largo. Estos ramales están limitados por la capacidad de movimiento del agua y por el desnivel de la superficie del terreno.

Los goteros adaptados en la línea se deben utilizar solamente en terrenos con poco desnivel para mantener una descarga uniforme. Porque la presión de operación es baja, un cambio moderado en la elevación causa una amplia variación en la descarga. Conviene consultar con el especialista para el diseño de estos sistemas.

Una de las consideraciones sobre los goteros que se utilizan en terrenos desnivelados es la variación en la descarga con cambios en la presión, debido a cambios de elevación. Hay una clase de gotero compensador de presión que

tiene aproximadamente el mismo promedio de descarga en un amplio intervalo de presión en la línea. En los goteros perforadores en la línea y muchos emisores de la clase adaptable, se observan cambios en grados de flujo que fluctúan desde moderado a mucho, de acuerdo a los cambios en la presión.

El gotero adaptado se utiliza para frutales y ornamentales. Aquí las plantas no se encuentran cerca del ramal. También se utiliza para el riego de plantas en macetas en el invernadero. Esta clase de gotero es individual, normalmente se conecta a una manguera plástica.

La presión de agua se reduce en el gotero a un grado bajo de flujo. El agua tiene que pasar por medio de largos laberintos, cámaras de torsión, orificios pequeños y otros arreglos antes de descargar. Algunos diseños permiten pasar partículas de tamaño moderado y liberarse fuera. Hay goteros de esta clase que se limpian automáticamente con bajas presiones. La presión de operación para esta clase de goteros varía de 5 a 60 psi. El promedio de flujo es de 2 a 7.6 litros por hora.

1.5 AUTOMATIZACIÓN EN INVERNADEROS

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primor, de calidad y de mayores rendimientos, en cualquier momento del año; a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de luminosidad, los sistemas de gestión del clima (apertura de ventanas, instalación de equipos de calefacción), etc.; que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

La automatización permite interactuar con el invernadero (Figura 1.16) sin necesidad de operar manualmente los diferentes actuadores y leer los sensores en terreno. A través de una arquitectura Cliente/Servidor es posible acceder al estado de las diferentes variables ambientales desde cualquier punto de Internet.¹²

Una desventaja de los sistemas clásicos de control es que los controladores normalmente son tarjetas electrónicas que almacenan datos, que no se pueden ver. Sin embargo, existe la alternativa de adaptar una computadora para ver en forma gráfica (HMI¹³) lo que ocurre dentro del invernadero con las variables ambientales. Por ejemplo, contenido de humedad en el sustrato¹⁴ donde se desarrollan las plantas, incluso cada minuto, con una precisión impresionante; cómo va la temperatura y la conductividad eléctrica en el sustrato, un elemento importante porque mide la cantidad de fertilizantes que éste tiene, lo cual ayuda a la toma de decisiones.

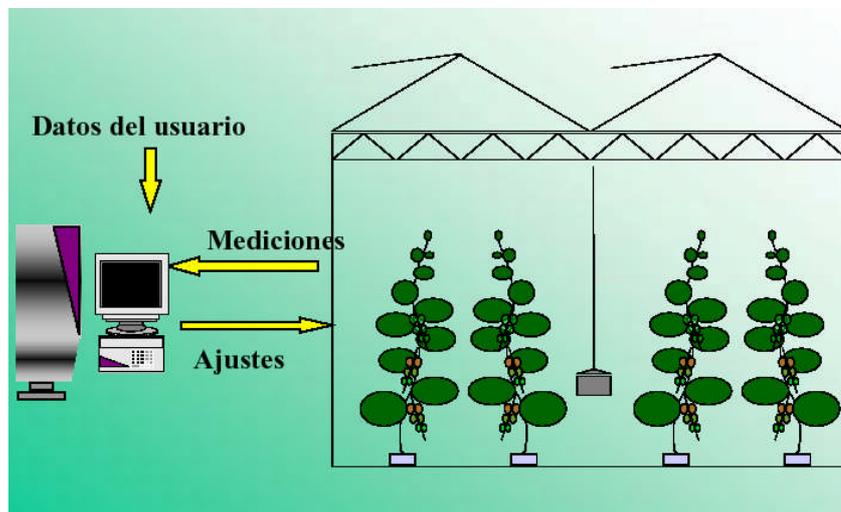


Figura 1.16 Automatización en invernaderos

¹²[http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/ff63a5509ae7ed4c86256b5f006484f5/\\$FILE/invernadero.PDF](http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/ff63a5509ae7ed4c86256b5f006484f5/$FILE/invernadero.PDF)

¹³ Interfaz Hombre Máquina

¹⁴ Medio de cultivo donde la planta encuentra componentes alimenticios para crecer, mezcla de diferentes materiales, preparado como medio de crecimiento de plantas.

Automatizar es necesario porque permite liberar al hombre de tareas repetitivas, que fácilmente puede realizar un dispositivo. Esto ahorra tiempo porque, en algunos casos, los dispositivos son más rápidos que la mano de obra humana, lo cual puede incrementar la calidad del producto y reducir costos de producción.

En niveles altos de automatización, la reducción de costos puede ser de 20 a 30 por ciento; en niveles medios se reduce entre 10 y 5 por ciento y en niveles bajos es poco significativo, aunque aquí lo importante es la oportunidad. Por ejemplo, en lugar de poner a una persona a regar en forma manual, con un sistema automático muy simple se puede realizar esta tarea cada hora, algo muy importante, ya que un invernadero, por ser un sistema frágil, requiere de mucha precisión.

Hay esquemas muy simples de control, niveles básicos de automatización que pueden ser una solución para productores pequeños o medianos. Por ejemplo, el termostato “siente” la temperatura del invernadero y manda una señal para activar ya sea un sistema de calefacción o de ventilación. También se puede regar automatizando o colocando un timer (reloj) y activar una bomba o válvula¹⁵.

Los nuevos esquemas de control y las nuevas tecnologías de comunicaciones permiten hacer control a larga distancia. Dado que el sistema de control está computarizado se puede conectar vía Internet, ahora disponible en cualquier lado, y manejar remotamente los puntos de referencia deseados. El mismo sistema puede mandar señales de alarma, lo cual puede hacerse al celular vía remota.

Otra posibilidad de la automatización es emplear modelos donde se introduzcan predicciones de largo plazo del cultivo y de corto plazo del clima. Con base en esto se decide cómo llevar el clima y riego del invernadero.

Otro enfoque, es que en lugar de medir el ambiente, el clima; hay que observar las expresiones de las plantas, temperatura, transpiración o flujo de savia,

¹⁵ http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_sec=26&id_art=251&id_ejemplar=1

diámetro del tallo o fruta, como referencia directa de si hay riego. Se envía la información a la computadora y ésta elige qué es recomendable hacer.

1.5.1 Elementos de la automatización en invernaderos

En automatización existen tres elementos importantes: sensores (Figura 1.17), actuadores (Figura 1.18) y procesador o controlador. Los sensores proporcionan información del ambiente del invernadero (temperatura, radiación solar, bióxido de carbono, humedad) que llegan al procesador, y éste, a su vez, toma una decisión y la manda a los actuadores, que pueden ser un calefactor, electroválvulas o motores que cierran o abren ventanas laterales y cenitales (Figura 1.19).

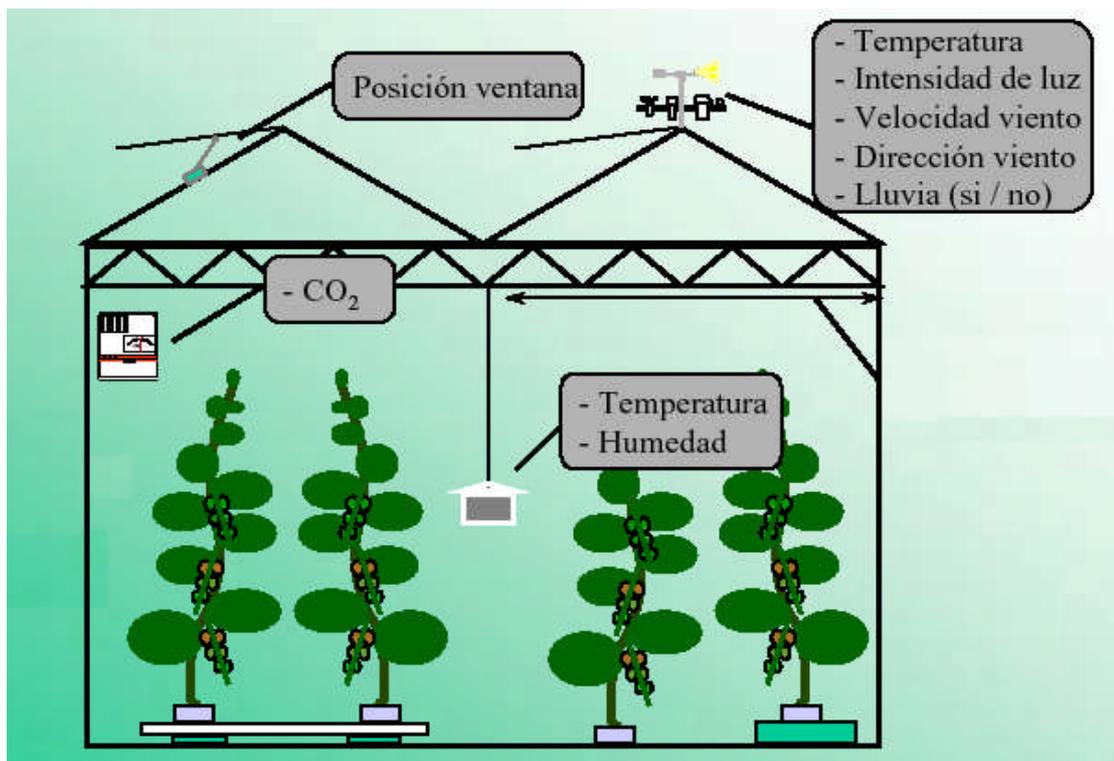


Figura 1.17 Sensores de medida

Equipos para realizar ajustes

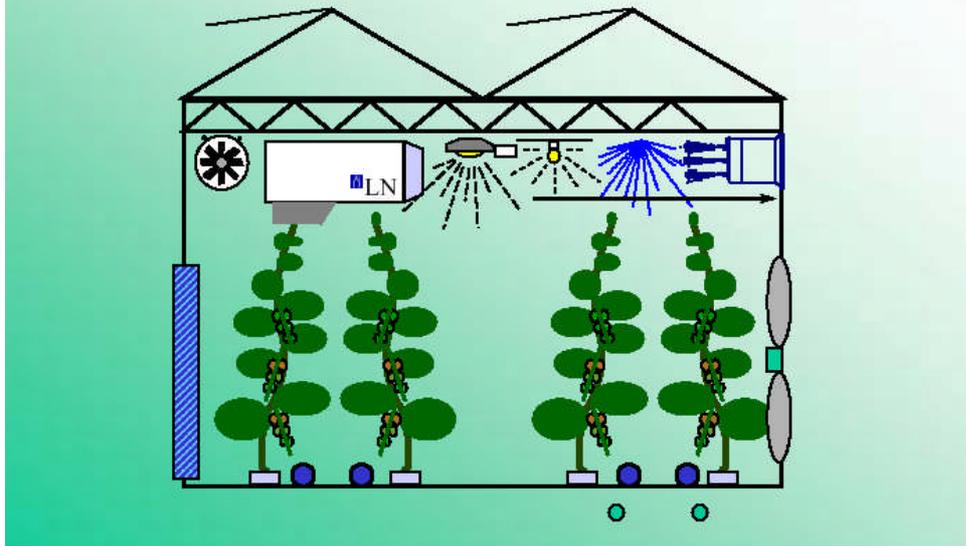


Figura 1.18 Actuadores



Figura 1.19. Ventanas laterales y cenitales

1.5.2 Métodos de programación del riego¹⁶

La programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuánto y cuándo regar. Los métodos de programación del riego se basan en:

- Medida del contenido de agua en el suelo
- Medida del estado hídrico de la planta
- Medida de parámetros climáticos

1.5.2.1 Métodos basados en la medida del contenido de agua en el suelo

Los sensores que miden el contenido de agua en el suelo permiten conocer cómo el cultivo va extrayendo el agua del suelo, de forma que el riego puede programarse para mantener un contenido de agua en el suelo entre dos niveles de humedad. La Figura 1.20 muestra la evolución del contenido de agua en el suelo durante varios ciclos de riego.

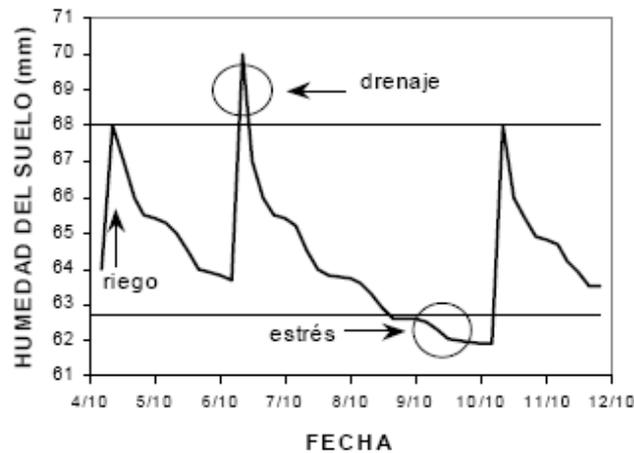


Figura 1.20 Evolución del contenido de agua del suelo

¹⁶ J.C. López, "Incorporación de tecnología al invernadero Mediterráneo", Cajamar, Barcelona-España, 2001

1.5.2.2 Métodos basados en la medida del estado hídrico del cultivo

Estos métodos incluyen técnicas que miden directamente las pérdidas de agua de una parte de la planta, de la planta entera o de un grupo de plantas, o miden características relevantes de las plantas que facilitan la estimación de la transpiración. El estado hídrico del cultivo puede determinarse mediante la utilización de sensores como:

- Sensores de medida del diámetro de los órganos de la planta
- Sensores de flujo de savia

1.5.2.3 Métodos basados en parámetros climáticos

Estos métodos se basan en la utilización de parámetros climáticos, que a partir de relaciones entre los parámetros climáticos y el estado de desarrollo del cultivo permiten estimar el volumen de agua consumido por el cultivo.

Para cultivos en suelo, donde la frecuencia de riego es menor y el suelo mantiene una reserva de agua, las estimaciones del consumo de agua del cultivo o ET_c son bastante precisas:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

Donde:

K_c = coeficiente de cultivo y representa la disponibilidad del cultivo y suelo para atender la demanda evaporativa de la atmósfera, y depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y disponibilidad de agua en el suelo.

ET_o = evapotranspiración de referencia y cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera.

1.6 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC´s

1.6.1 Automatización industrial

Automatización Industrial es un conjunto de técnicas que involucran la aplicación e integración de sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos, unidos con los autómatas programables o PLC´s para operar y controlar diferentes tipos de sistemas industriales de forma autónoma. Es un área en la que confluyen diferentes disciplinas para la solución de problemas industriales. Los problemas de eficiencia, productividad, calidad, decisiones estratégicas y diseño de procesos, tanto en el ámbito de producción y planta como a nivel gerencial, son también problemas de Automatización Industrial.¹⁷

En el contexto industrial, la automatización es como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en la informática en la operación y control de la producción. Este concepto, para ser actualizado, debe incluir el uso de robots. El robot industrial forma parte del progresivo desarrollo de la automatización industrial, favorecido notablemente por el avance de las técnicas de control por computadora, y contribuye de manera decisiva a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala.¹⁸

1.6.1.1 Tipos de automatización industrial ¹⁹

a) Fija

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto. Por lo tanto, es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar productos o

¹⁷ <http://www.tvlocal.com/formacion/cursos-postgradoautomatizacionindustrial.html>

¹⁸ http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFlexible/Robotica_y_Aplicaciones.pdf

¹⁹ <http://www.oaplo.com.ar/Articulos/Tecnologia-1005.pdf>

componentes con alto rendimiento y elevadas tasas de producción. Relativamente inflexible en adaptarse a cambios en el producto.

b) Programable

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto dado. La producción se obtiene por lotes.

c) Flexible

Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.

1.6.2 Autómatas programables o PLC's ²⁰

Se entiende por controlador lógico programable (PLC), o autómata programable, a toda máquina electrónica, basada en microprocesador, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

²⁰ <http://leonardo.uncu.edu.ar/catedras/InstrumentacionYControl/archivos/unidad7.pdf>

También se le puede definir como una "caja negra" en la que existen unos terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, fotoceldas, detectores, etc., y unos terminales de salida a los que se le conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas; de tal forma que la actuación de estos últimos están en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.²¹ En la Figura 1.21 se muestra físicamente un PLC.



Figura 1.21 PLC (Programmable Logic Controller)

Un PLC posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar²² (Figura 1.22).

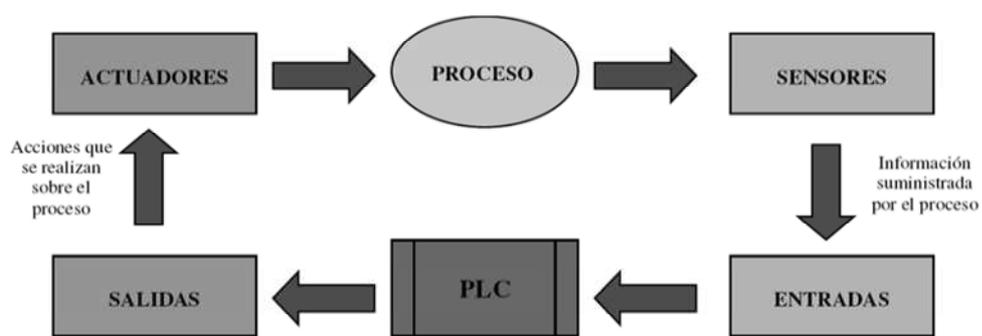


Figura 1.22 Diagrama de bloques de operación de un PLC

21

<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~valfaro/docs/monografias/0401/ucr.ie431.trabajo.2004.01.grupo02.pdf>

22 CEKIT S.A., "Electrónica Industrial y Automatización", Tomo 2, Pereira-Colombia, 2002

1.6.2.1 Funciones básicas de un PLC²³

El autómata programable debe realizar multitud de funciones y muchas de ellas simultáneamente, las funciones más clásicas son:

a) Detección

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

b) Mando

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

c) Diálogo Hombre Máquina

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

d) Programación

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina.

1.6.2.2 Nuevas funciones

a) Redes de comunicación

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a

²³ Ramón Piedrafita Moreno, "Ingeniería de la automatización industrial", Alfaomega Grupo Editor S.A., México D.F., 2001

tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

b) Sistemas de supervisión

También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

c) Control de procesos continuos

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

d) Entradas- Salidas Distribuidas

Los módulos de entrada-salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación; se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

e) Buses de campo

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

1.6.2.3 Estructura

El elemento central de los autómatas programables es la Unidad Central de Proceso. En la unidad central del PLC se encuentran el procesador o procesadores, las memorias RAM, ROM y también la memoria de seguridad grabable eléctricamente.

El PLC se organiza alrededor de la unidad central y la comunicación con los módulos se establece mediante un bus interno. A este bus se le pueden conectar módulos de funciones específicas como pueden ser módulos de entrada-salidas digitales, módulos de entrada-salidas analógicas, módulos de comunicación, etc.

La configuración física de un PLC se puede presentar en tres formas principales:

- Autómatas compactos
- Autómatas semimodulares
- Autómatas modulares

Los autómatas de gama baja suelen tener una estructura compacta. Incorporan en la unidad central los módulos de entrada-salida e incluso el acoplador de comunicaciones. Su potencia de proceso suele ser muy limitada, dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando. En la Figura 1.23 se muestra un PLC compacto.



Figura 1.23 PLC compacto

Los autómatas semimodulares se dedican a automatizaciones de gama media. Están limitados en sus posibilidades de ampliación y potencia de proceso, aunque son superiores a los compactos.

Las posibilidades que ofrecen los autómatas modulares son infinitas, ya que evoluciona día a día y permiten abordar cualquier tipo de automatización.

Esta organización modular permite una gran flexibilidad de configuración para las necesidades del usuario, así como un diagnóstico y un mantenimiento fáciles. Si algún módulo falla, puede ser rápidamente sustituido. En la Figura 1.24 se muestra un PLC modular.



Figura 1.24 PLC modular

1.6.2.4 Arquitectura

Los PLC's en su parte de hardware se constituyen de:

- Fuente de alimentación
- CPU
- Unidad de Memoria
- Módulos de entradas
- Módulos de salidas
- Terminal de programación
- Periféricos

En la Figura 1.25 se muestra la arquitectura general de un autómata programable.

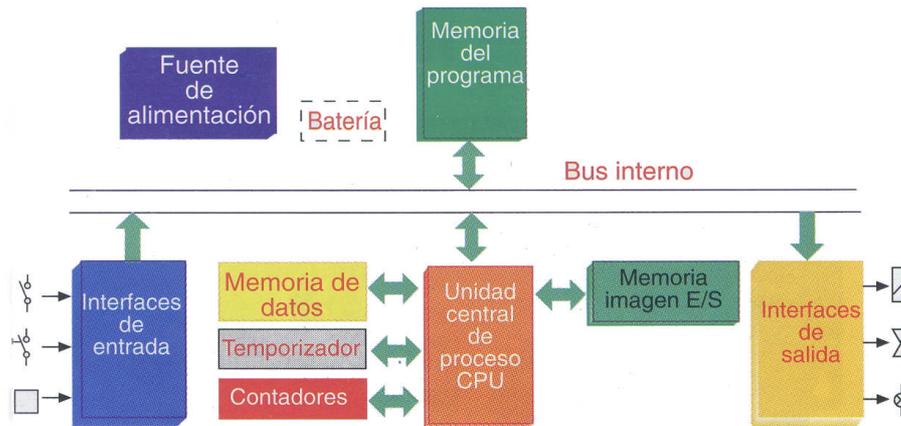


Figura 1.25 Arquitectura general de un autómata programable

a) Fuente de alimentación²⁴

A partir de una tensión exterior (generalmente 120 ó 220 VAC), proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del autómata; usualmente 12 ó 24 VDC.

b) Unidad Central de Proceso o CPU

La unidad central de proceso es la parte inteligente del autómata. Su función es ejecutar las instrucciones del programa. También se encarga de las comunicaciones con los equipos de programación y de la gestión de los estados de error.

Su elemento base es el microprocesador. La capacidad de cálculo y la velocidad de procesamiento dependen del número y tipo de procesadores que tenga. La mayor parte de los autómatas tienen una CPU con un solo procesador pero cada vez hay más que tienen las funciones descentralizadas entre diversos procesadores a menudo diferentes.

²⁴ <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf>

Contiene las siguientes partes:

- Unidad central o de proceso
- Temporizadores y contadores
- Memoria de programa
- Memoria de datos
- Memoria imagen de entrada
- Memoria de salida

c) Unidad de memoria²⁵

La memoria de un autómata programable sirve para almacenar el programa y los datos del proceso.

Los autómatas pueden tener una asignación de memoria fija es decir que la parte destinada a programa y la parte destinada a datos (incluso el número de temporizadores, contadores, etc.) viene fijada de fábrica o con asignación dinámica de la memoria de forma que a medida que se va haciendo el programa se asigna a cada necesidad la parte requerida.

La memoria de programa tiene una parte fija: el sistema operativo. Esta parte viene programada de fábrica y es la que se encarga de la lectura de entradas/salidas, efectuar el *scan* de programa, gestionar los posibles errores de funcionamiento, etc.

Memoria de datos RAM (Memoria de acceso aleatorio)

Son memorias volátiles, se pueden leer, escribir y borrar fácilmente por el propio programa. En esta memoria de datos se copia los operandos y/o el resultado de las instrucciones, así como ciertas configuraciones del PLC. Tienen el inconveniente de que pierden la información grabada cuando se desconecta la

²⁵ <http://gpds.uv.es/plc/plc.pdf>

alimentación. El microprocesador del PLC utiliza esta memoria para escribir los datos y recurre a ella para leer el programa. Otra ventaja de esta memoria es que no es necesario borrar los datos que contiene, se puede escribir directamente los nuevos datos sobre los que ya tiene grabados.

Memoria de programas ROM (Memoria de sólo lectura)

Es una memoria que se programa en el momento de fabricación y que puede ser leída pero no escrita ni borrada. En esta memoria no volátil reside el programa y el sistema operativo del PLC, más conocido como firmware²⁶. Tecnológicamente los PLC's están implementando esta área, a través de memorias EEPROM o tipo FLASH.

La memoria ROM, conserva la información aunque no esté alimentada. En este módulo, reside el programa que va a ejecutar el PLC. Previo a la ejecución del programa, la CPU realiza una copia del programa en la memoria RAM.

d) Módulo de entrada

A éste se conectan los captadores (interruptores, finales de carrera, pulsadores, etc.). Cada cierto tiempo el estado de las entradas se transfiere a la memoria imagen de entrada. La información recibida en ella, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación.

Se pueden diferenciar dos tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

Los captadores pasivos son los que cambian su estado lógico (activado o no activado) por medio de una acción mecánica. Estos son los interruptores, pulsadores, finales de carrera.

²⁶ Firmware o Programación en Fime, es un bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, grabado en una memoria tipo ROM, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

Los captadores activos son dispositivos electrónicos que suministran una tensión al autómata, que es función de una determinada variable.

e) Módulo de salidas

Encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños, etc.).

La información enviada por las entradas a la CPU, una vez procesada, se envía al módulo de salidas para que estas sean activadas y a la vez los actuadores que en ellas están conectados.

Según el tipo de proceso a controlar por el autómata, se puede utilizar diferentes módulos de salidas. Existen tres tipos bien diferenciados:

- A relés: son usados en circuitos de corriente continua y corriente alterna. Están basados en la conmutación mecánica, por la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.
- A triac: se utilizan en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesitan maniobras de conmutación muy rápidas.
- A transistores a colector abierto: son utilizados en circuitos que necesiten maniobras de conexión / desconexión muy rápidas. El uso de este tipo de módulos es exclusivo de los circuitos de corriente continua.

f) Terminal de programación

El terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema.

Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.

Como consolas de programación pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el autómeta, tipo calculadora o bien un ordenador personal (PC) que soporte un software específicamente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

g) Periféricos

Los periféricos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómeta, pero sin embargo facilitan la labor del operario.

Los más utilizados son:

- Grabadoras a cassettes.
- Impresoras.
- Visualizadores y paneles de operación (OP).
- Memorias EEPROM.
- Cartuchos de memoria EPROM.

1.6.2.5 Software para la programación

Los paquetes de software para programación de autómetas convierten un ordenador personal en un equipo de programación específico; aprovechando sus potentes recursos de interfaz con otros sistemas (impresoras, otros PC's) y con el usuario (teclado, monitor), y el bajo precio del hardware debido a la estandarización y generalización de uso de los ordenadores compatibles. Esta opción (PC + software) constituye, junto con las consolas (en menor medida), prácticamente la totalidad de equipos de programación utilizados por los programadores de autómetas.

Los requisitos de hardware y software exigidos para instalar sobre el PC un entorno de programación de autómatas, varían en función del tipo de autómata programable.

El paquete de programación se completa con la unidad externa de conexión que convierte y hace compatibles las señales físicas entre la salida serie estándar de PC (RS-232C, RS-422/485) y el puerto de conexión de la consola del autómata, canal usualmente utilizado también para la conexión con el PC.

1.6.2.6 Funcionamiento el autómata programable o PLC²⁷

El autómata programable está siempre repitiendo un ciclo, llamado ciclo de SCAN, que consiste en lo siguiente:

- a) Lee todas las entradas y almacena el estado de cada una de ellas.
- b) Ejecuta las operaciones del programa siguiendo el orden en que se han grabado.
- c) Escribe el resultado de las operaciones en las salidas.
- d) Una vez escritas todas las salidas (activando o desactivando las que el resultado de las operaciones así lo requieran) vuelve al paso a).

Este ciclo de Scan se realiza indefinidamente hasta que se pase el conmutador de la CPU a la posición STOP (Figura. 1.26).



Figura 1.26 Ciclo de funcionamiento del PLC

²⁷ http://www.unicrom.com/tut_PLC8.asp

1.6.2.7 Lenguajes de programación para PLC's²⁸

Los lenguajes de programación son necesarios para la comunicación entre el usuario, sea programador u operario de la máquina, y el PLC. La interacción que tiene el usuario con el PLC la puede realizar por medio de la utilización de un cargador de programa también reconocida como consola de programación o por medio de un PC, como se indicó anteriormente.

La norma IEC 61131-3 define cuatro lenguajes de programación normalizados. Esto significa que su sintaxis y semántica ha sido definida, no permitiendo particularidades distintivas (dialectos).

Los lenguajes consisten en dos de tipo literal y dos de tipo gráfico (Figura 1.27):

Literales:

- Lista de instrucciones (Instruction List, IL).
- Texto estructurado (Structured Text, ST).

Gráficos:

- Diagrama de escalera (Ladder Diagram, LD).
- Diagrama de bloques funcionales (Function Block Diagram, FBD).

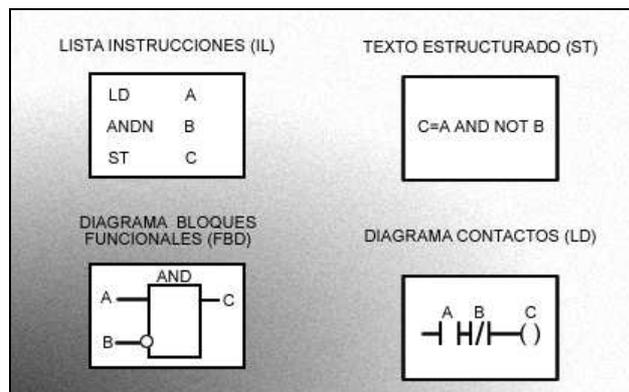


Figura 1.27 Lenguajes IEC 6113-3

²⁸ <http://automaindus.googlepages.com/IEC061131-3Lenguajes.pdf>

En la Figura 1.27, los cuatro programas describen la misma acción. La elección del lenguaje de programación depende de:

- Los conocimientos del programador.
- El problema a tratar, el nivel de descripción del proceso.
- La estructura del sistema de control.
- La coordinación con otras personas o departamentos.

Se define a continuación los lenguajes más significativos:

- **Lenguaje a contactos**

Es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos. Muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente de esta forma.

- **Lenguaje por lista de instrucciones**

En los autómatas de gama baja, es el único modo de programación. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos. Este tipo de lenguaje es, en algunos casos, la forma más rápida de programación e incluso la más potente.

- **GRAFCET (Gráfico Funcional de Etapas y Transiciones)**

Ha sido especialmente diseñado para resolver problemas de automatismos secuenciales. Las acciones son asociadas a las etapas y las condiciones a cumplir a las transiciones. Este lenguaje resulta enormemente sencillo de interpretar por operarios sin conocimientos de automatismos eléctricos. Muchos de los autómatas que existen en el mercado permiten la programación en GRAFCET, tanto en modo gráfico o como por lista de instrucciones. También se

puede utilizarlo para resolver problemas de automatización de forma teórica y posteriormente convertirlo a plano de contactos.

- **Plano de funciones lógicas**

Resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

1.7 SENSORES Y TRANSDUCTORES

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5 VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo, que aprovecha una de sus propiedades, con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura.

Áreas de aplicación de los sensores: Agricultura, Industria Automotriz, Industria Aeroespacial, Medicina, Industria de Manufactura, Robótica, etc.

Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida. El nombre del transductor ya indica cual es la transformación que realiza. Es un dispositivo usado principalmente en la industria, en la medicina, en la agricultura, en robótica, en aeronáutica, etc., para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos. Los transductores siempre consumen algo de energía por lo que la señal medida resulta debilitada.²⁹

Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía a otra, un sensor convierte un parámetro físico a una salida eléctrica.

1.7.1 Clasificación de los sensores

Aunque es un poco complicado realizar una clasificación única, debido a la gran cantidad de sensores que existen actualmente, las siguientes son las clasificaciones más generales y comunes:

i) Un tipo de clasificación muy básico es diferenciar a los sensores entre PASIVOS o ACTIVOS; los sensores activos generan la señal de salida sin la necesidad de una fuente de alimentación externa, mientras que los pasivos si requieren de esta alimentación para poder efectuar su función.

ii) Según el tipo de señal que proveen a la salida:

- **Todo o nada**, son sensores que solo poseen dos estados, asociados al cierre o apertura de un contacto eléctrico, o bien a la conducción o corte de un interruptor estático como transistor o tiristor. En la Figura 1.28 se muestran sensores “Todo o Nada” capacitivo, óptico e inductivo.

²⁹ <http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresYTransductores>

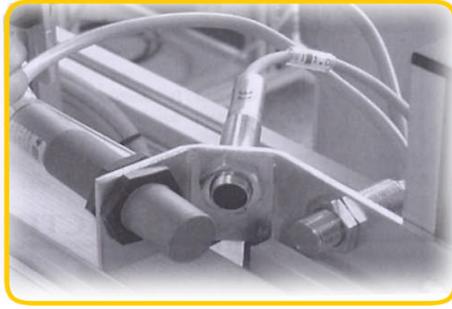


Figura 1.28 Sensores “Todo o Nada” capacitivo, óptico e inductivo

- **Digitales**, estos sensores proporcionan una señal codificada en pulsos o sistemas como BCD, binario, etcétera. En la Figura 1.29 se indica un encoder.



Figura 1.29 Encoder

- **Analógicos**, estos sensores proporcionan un valor de voltaje o corriente, donde la señal más común utilizada en aplicaciones industriales es un circuito de corriente de 2 hilos y 4-20 mA. En la Figura 1.30 se muestra un sensor analógico (Sonda de temperatura)

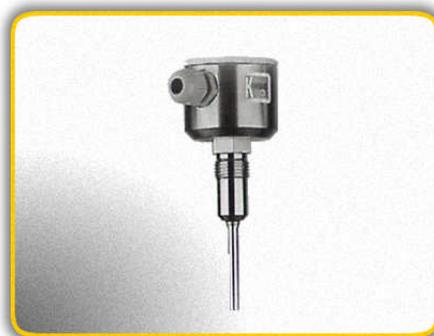


Figura 1.30 Sensor analógico (Sonda de temperatura)

iii) Según el tipo de magnitud física a detectar:

a. Medición de temperatura

Pirómetro óptico
Pirómetro de radiación
Termistor
RTD's
Termopar

b. Medición de esfuerzos y deformaciones

c. Medición de movimiento

Grandes distancias: Radar, láser, Ultrasonido, etc.

Distancias pequeñas:

Métodos ópticos
Métodos inductivos (LVDT)
Métodos resistivos y capacitivos

Posición lineal o angular:

Codificadores incrementales
Codificadores absolutos
Transductores capacitivos

d. Sensores de presencia o proximidad

Inductivos
Capacitivos
Fotoeléctricos

De efecto Hall
Radiación
Infrarrojos

e. Sistemas de visión artificial

Cámaras CCD

f. Sensores de humedad y punto de rocío

Humedad en aire y gases
Humedad en sólidos
Punto de rocío

g. Sensores de caudal

De sólidos, líquidos o gases.
Presión diferencial.
Medidores magnéticos.
Medidores por fuerzas de Coriolis.
Medidores de área variable.
Medidores de desplazamiento positivo.

h. Sensores de nivel.

De líquidos y sólidos.

i. Sensores de presión

j. Sensores de Fuerza y par

k. Sensores de intensidad lumínica

l. Sensores de aceleración

m. Sensores de velocidad lineal o angular

Debido a la gran cantidad de sensores que existen en la actualidad se hablará solo de los sensores que miden variables relacionadas al tema.

1.7.1.1 Sensores de Humedad³⁰

No existe una tecnología de medición que sea apropiada para todas las aplicaciones. Algunas de las tecnologías típicamente usadas son: técnicas para la medición de humedad relativa³¹. Las mediciones de humedad relativa puede ser hecha por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos y por absorción de líquido. Algunos de los cuales se describe a continuación.

a) Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco

La psicometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad e inherente bajo costo. Un psicómetro industrial típico consiste de 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 medible con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en una tabla psicométrica.

El psicómetro provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otra parte a baja humedad relativa (menos del 20%) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede utilizarse a temperaturas menores de 0°C y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse tampoco en

³⁰ Antonio Creus Sole, "Instrumentación Industrial", Séptima Edición, Alfaomega, México, 2005

³¹ Es el cociente entre la presión parcial del vapor de agua a una temperatura t_0 y la presión total del vapor a saturación y a la misma temperatura t_0 . Equivale al porcentaje de humedad.

ambientes pequeños o cerrados. Los psicómetros son utilizados típicamente para control ambiental en recintos.

En la Figura 1.31 se muestra la constitución física de un psicómetro.

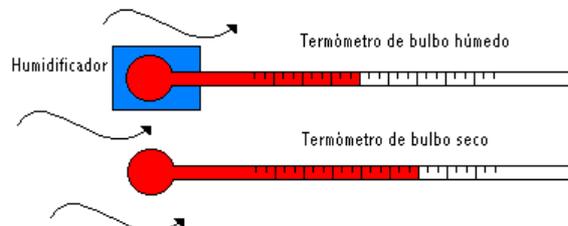


Figura 1.31 Psicómetro

b) Sensores por desplazamiento (Método de elemento de cabello)

Es quizás el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción lineal que son características de los materiales sensibles a las variaciones de humedad, tales como los cabellos naturales o fibra de nailon.

Las ventajas de este tipo de sensor son el bajo costo de fabricación y es altamente inmune a la contaminación. Las desventajas son la tendencia a la descalibración en el tiempo y los efectos de histéresis significativos.

En la Figura 1.32 puede observarse el funcionamiento de estos instrumentos. Su exactitud es del orden de ± 3 a ± 5 % y su campo de medida de 15 a 95% RH.

Elemento Higroscópico

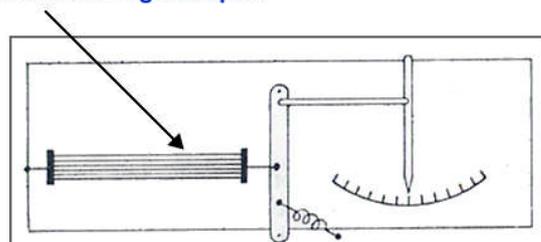


Figura 1.32 Elemento de cabello

c) Sensor de bloque de polímero resistivo

Están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una grilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad permea la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa.

Por su misma estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial, ya que no afecta su precisión aunque si el tiempo de respuesta. Debido a los valores extremadamente altos de resistencia del sensor a niveles de humedad menores que 20%, es apropiado para los rangos altos de humedad.

d) Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa. En la Figura 1.33 se muestra la estructura de un sensor capacitivo.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor. Este tipo de sensor es

especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85%, el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.



Figura 1.33 Sensor capacitivo

1.7.1.1.1 Sensores de Humedad de Suelo

a) Tensiómetros

El tensiómetro mide el esfuerzo que las raíces deben realizar para extraer la humedad del suelo (potencial matricial). Son sensores baratos y de fácil instalación, sin embargo no miden directamente el contenido de agua del suelo, además la relación entre el potencial matricial y el contenido de agua no es universal y difiere para cada tipo de suelo. En la Figura 1.34 se indica un tensiómetro.



Figura 1.34 Tensiómetro

b) Watermark

Al igual que los tensiómetros, miden el potencial matricial, son baratos y fáciles de instalar. No está indicado su uso en suelos con alta porosidad y la temperatura del suelo interfiere en la medida en un 2 % por cada grado. En la Figura 1.35 se indica un sensor Watermark.



Figura 1.35 Sensor Watermark

1.7.1.2 Sensor de Viento (anemómetro)³²

La mayoría de los modelos de mercado se basan en el principio de funcionamiento de un anemómetro de paletas que giran a una velocidad proporcional al viento; el límite de velocidad puede ajustarse a través de un potenciómetro. En la Figura 1.36 se observa al anemómetro y su posible conexión.

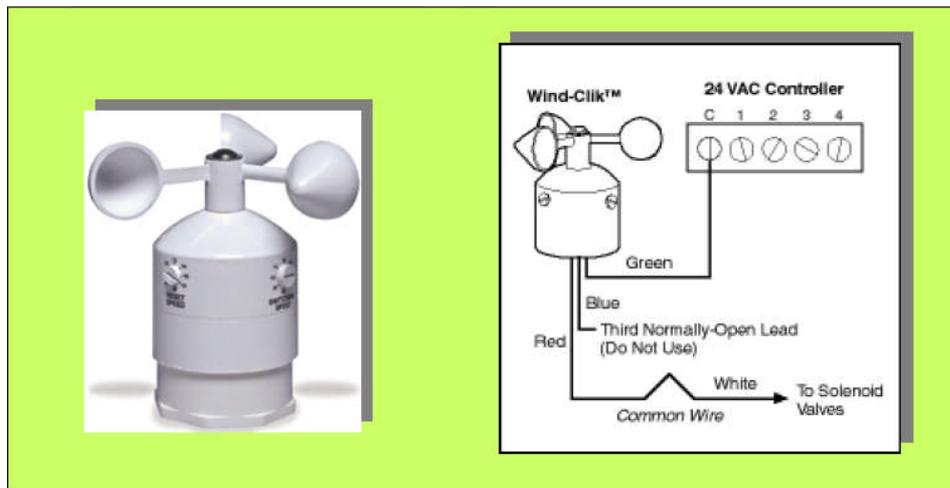


Figura 1.36 Anemómetro y posible conexión

a) Aplicación

Se lo utiliza para aplicaciones de domótica, invernaderos, estaciones meteorológicas, etc. Algunos fabricantes suministran todo el conjunto de componentes necesarios para la operación completa³³: motores, sensores (viento y luminosidad), mando a distancia, pulsadores, etc. En la Figura 1.37 se presenta la Instalación inalámbrica para control de un toldo.

³² <http://isa.uniovi.es/docencia/AutomEdificios/transparencias/sensores.pdf>

³³ Comprende detección de la velocidad y dirección del viento y accionamiento de actuadores de acuerdo a las necesidades del sistema.

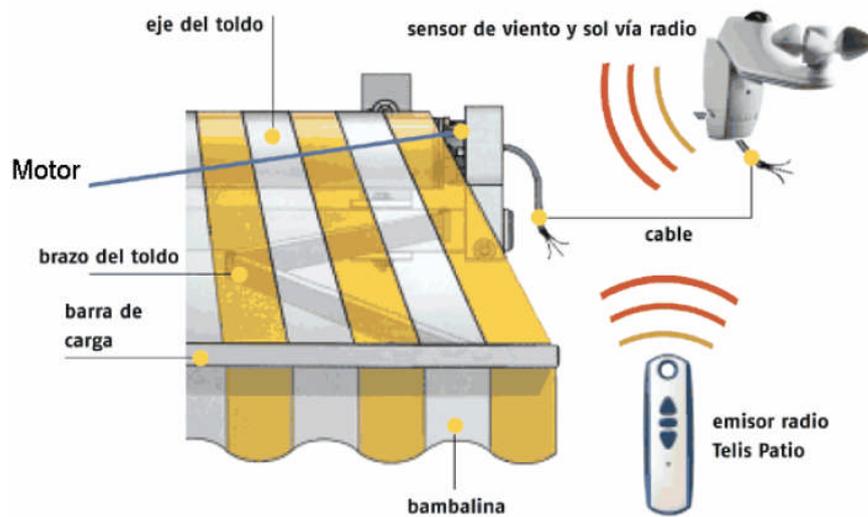


Figura 1.37 Instalación inalámbrica para control de un toldo

b) Ubicación

Resulta más conveniente situar el sensor en la parte más elevada, tal como se indica en la Figura 1.38.

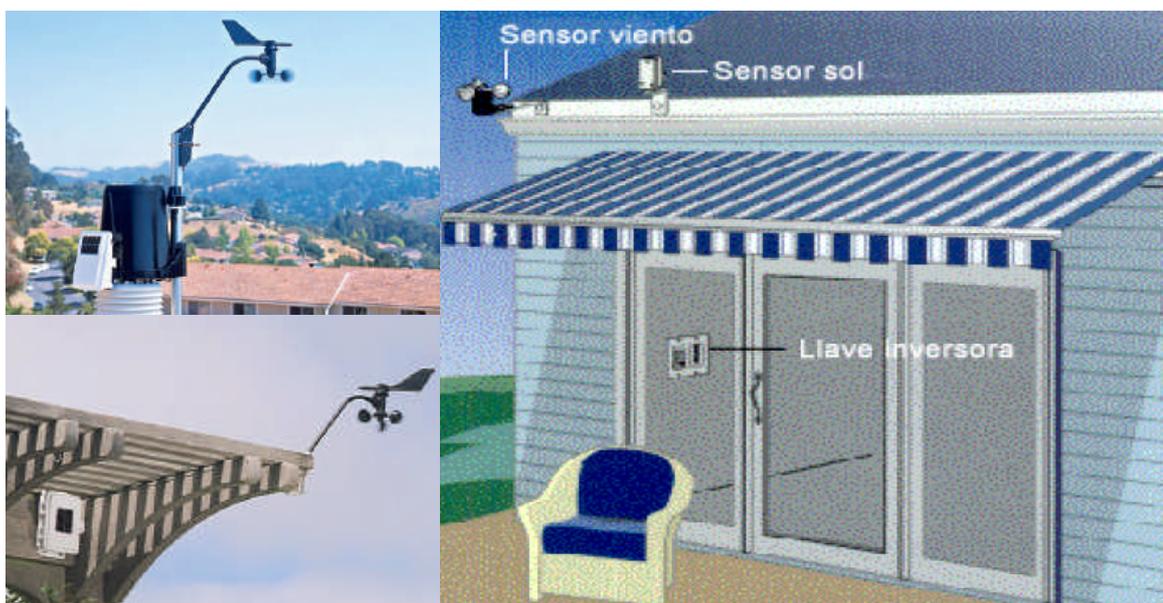


Figura 1.38 Ubicación del sensor de viento

1.8 REDES INDUSTRIALES

La necesidad de comunicar distintos dispositivos independientemente de su jerarquía en la industria originó las redes industriales. Las redes industriales, limitadas antes a comunicar los diferentes dispositivos de campo (transductores y trasmisores con actuadores) han ido evolucionado para poder procesar los datos que una planta moderna debe generar para ser competitiva, segura, confiable. Así mismo, han tenido que desarrollarse para poder satisfacer las necesidades de información que ahora se tiene no solo a nivel de proceso sino también a nivel de gerencia.

Las redes industriales constituyen ahora la infraestructura de los sistemas SCADA³⁴ y DCS³⁵.

1.8.1 Ventajas de una red industrial

Las ventajas que se aportan con una red industrial son, entre otras, las siguientes:

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- Toma de datos del proceso más rápida o instantánea.
- Mejora del rendimiento general de todo el proceso.
- Posibilidad de intercambio de datos entre sectores del proceso y entre departamentos.
- Programación a distancia, sin necesidad de estar a pie de fábrica.

Las ventajas son evidentes, pero a cambio de un cierto costo que debe ser estudiado para determinar si la inversión es rentable o innecesaria.

34 Supervisory Control And Data Adquisition

35 Sistemas de Control Distribuido

1.8.2 Beneficios de una red industrial³⁶

- Reducción de cableado (físicamente)
- Dispositivos inteligentes (funcionabilidad y ejecución)
- Control distribuido (Flexibilidad del sistema)
- Reducción de costo en cableado y cajas de conexión
- Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura
- Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción
- Optimización de los procesos existentes

1.8.3 Niveles en una red industrial

En una red industrial coexistirán equipos y dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente, tal como se muestra en la Figura 1.39, para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. De esta forma se definen cuatro niveles dentro de una red industrial:

a) Nivel de gestión

Es el nivel más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples factorías. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).

b) Nivel de Control

Se encarga de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados a diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo LAN.

³⁶ <http://eya.swin.net/>

c) Nivel de campo o proceso

Se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes o "islas". En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo.

d) Nivel de E/S

Es el nivel más próximo al proceso. Aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

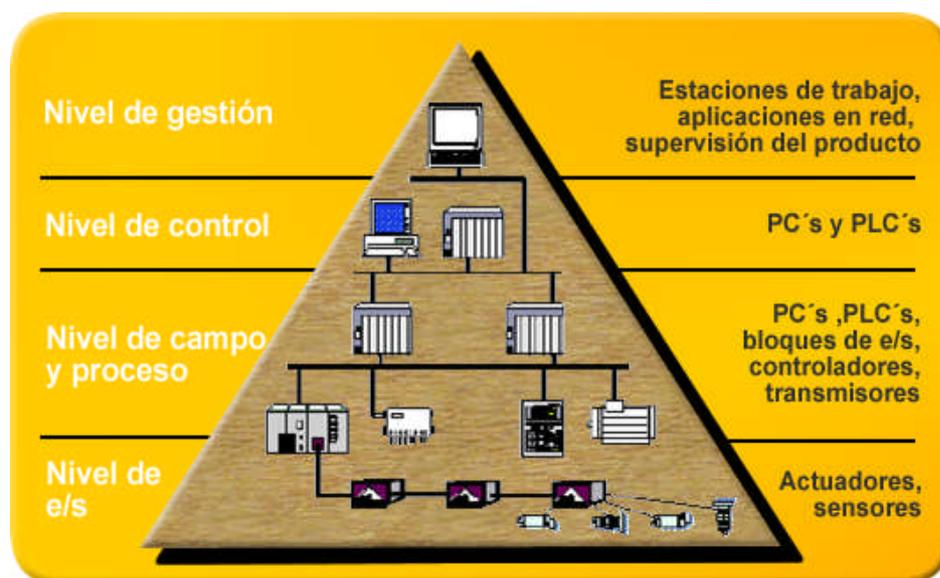


Figura 1.39 Niveles de una red industrial

En el esquema piramidal presentado en la Figura 1.39, existían diferentes niveles de comunicación, cada uno de ellos con diferentes necesidades. Se puede hablar en realidad de dos tipos de redes: *redes de control* y *redes de datos*. Las redes de control están ligadas a la parte baja de la pirámide, mientras que las redes de datos (o de ofimática) están más ligadas a las partes altas de la jerarquía.

En general, las redes de datos están orientadas al transporte de grandes paquetes de datos, que aparecen en forma esporádica, y con un gran ancho de banda para permitir el envío rápido de una gran cantidad de datos. En contraste, las redes de control se enfrentan a un tráfico formado por un gran número de pequeños paquetes, intercambiados con frecuencia entre un alto número de estaciones que forman la red y que muchas veces trabajan en tiempo real.

1.8.3.1 Redes LAN industriales³⁷

a) MAP (Manufacturing Automation Protocol): Nació como un producto especialmente diseñado para el entorno industrial, lo que hace que sea de mayor éxito en LAN industriales. Fue impulsado por General Motors y normalizado por el IEEE. No actúa a nivel de bus de campo, pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales. También permite integración en redes WAN.

b) ETHERNET: Diseñada por Xerox Corporation y registrada posteriormente junto con Digital e Intel, hoy es el estándar IEEE 802.3. Es compatible con el modelo OSI en los niveles 1, 2 y 3 (el último a través de puentes). Permite topología en Bus o árbol con comunicación semidúplex. Las velocidades van desde los 10 Mbits/s a los 100 Mbits/s de Fast-Ethernet. Es uno de los estándares de red que más rápidamente evolucionan, debido a su uso masivo en redes ofimáticas.

1.8.3.2 Buses de campo

Es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4-20mA. Típicamente son redes de control digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y

³⁷Rodolfo Gordillo, "Comunicaciones industriales" pdf, DEE-ESPE, 2007

sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un costo bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

El objetivo es reemplazar los sistemas de control centralizados por redes de control distribuido, mediante el cual permita mejorar la calidad del producto, reducir los costos y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos. Además, cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico. De esta forma, cada nodo de la red puede informar en caso de fallo del dispositivo asociado, y en general sobre cualquier anomalía asociada al dispositivo. Esta monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de horas de mantenimiento necesarias.³⁸

Los elementos que componen un bus de campo son básicamente:

Maestros: esta tarea la desempeña un controlador que generalmente es un computador o un PLC. Normalmente existe un solo maestro por bus aunque pueden existir varios según la aplicación.

Esclavos: elementos pasivos o sin iniciativa propia de comunicación que suelen ser generalmente elementos actuadores o sensores.

Medio de conexión: cable o fibra generalmente.

Configurador de bus: se suele utilizar un computador y se encarga de establecer parámetros, asignar direcciones, mapear la información en el maestro, etc.

³⁸ <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.pdf>

Supervisor: generalmente un computador que sólo toma información del bus.

Otos accesorios: utilizados para extender la capacidad del bus como por ejemplo: repetidores, transceivers, etc.³⁹

1.8.3.2.1 Ventajas de los buses de campo

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costos. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema. Una de las principales características de los buses de campo es su significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación. Cada componente sólo requiere un cable para la conexión de los diversos nodos.

El hecho de que los buses de campo sean más sencillos que otras redes de uso industrial como por ejemplo MAP, hace que las necesidades de mantenimiento de la red sean menores, de modo que la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta. Además, los buses de campo permiten a los operadores monitorizar todos los dispositivos que integran el sistema e interpretar fácilmente las interacciones entre ellos. De esta forma, la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo los costos de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta.

Los buses de campo ofrecen mayor flexibilidad al usuario en el diseño del sistema. Algunos algoritmos y procedimientos de control, que con sistemas de comunicación tradicionales debían incluirse en los propios algoritmos de control, radican ahora en los propios dispositivos de campo, simplificando el sistema de control y sus posibles ampliaciones.

³⁹ Miguel Pérez , Juan Álvarez, Juan Campo, Javier Ferrero, Gustavo Grillo; "Instrumentación electrónica", Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., Madrid-España, 2004

También hay que tener en cuenta que las prestaciones del sistema mejoran con el uso de la tecnología de los buses de campo, debido a la simplificación en la forma de obtener información de la planta desde los distintos sensores. Las mediciones de los distintos elementos de la red están disponibles para todos los demás dispositivos. La simplificación en la obtención de datos permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes.

Con la tecnología de los buses de campo, se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo.

1.8.3.2 Enlaces físicos de los buses de campo

En cuanto a las formas de enlace físico más utilizadas en las comunicaciones industriales se distinguen:

- RS-232-C (normas EIA-RS232, V.24 CCITT) (punto a punto a 1).
- RS-422 (norma EIA-RS422, V.11 y X.27 CCITT) (multipunto a n).
- RS-485 (norma EIA-RS485) (multipunto n a n).

Todos ellos son enlaces de tipo serie. En los buses de campo suele utilizarse el enlace RS-485 por sus prestaciones de inmunidad al ruido y distancias entre nodos.

RS-232-C

Es un enlace de tipo full-duplex y punto a punto. Está limitada por la distancia de conexión y velocidad, la distancia máxima sin ningún circuito de ampliación es de aproximadamente 15m (en la práctica puede llegar a funcionar hasta con distancias de 100m) y su velocidad típica ronda los 19000 baudios, aunque puede ser superior. Este tipo de enlace dispone de unas líneas de datos y unas líneas de control sobre las que se implementa el protocolo de comunicación. La norma

básica se ocupa de las especificaciones físicas del conector, los niveles de tensión de las señales y las señales de protocolo.

RS-422

La RS-422 trabaja en forma diferencial con las líneas que transmite y recibe, lo que mejora su inmunidad al ruido y permite extender el cable mayores distancias soportando hasta 10 dispositivos. Las distancias y frecuencias que se utilizan en este bus son de 1200 a 1500 m a 100 Kbits/s o 50 m a 10 Mbits/s.

Es una interfaz estándar muy apropiada para aplicaciones industriales que conectan un maestro con varios terminales. También permite la comunicación punto a punto entre dos nodos utilizando, generalmente, un par de cables trenzados para cada línea de señal (4 hilos).

RS-485

Este enlace es uno de los más utilizados en la industria. Se trata de un enlace serie, con transmisión de señales en modo diferencial, multipunto. Este enlace está basado en la interfaz RS-422 pero utiliza sólo un par trenzado para la comunicación. Presenta una alta inmunidad al ruido y se pueden crear redes multipunto maestro-esclavo de forma muy sencilla.

Características:

Número máximo de dispositivos: 32

Longitud máxima: 1200 m

Velocidad máxima: 10 Mb/s

Puesto que RS-485 es una versión mejorada de RS-422, todo dispositivo RS-422 puede ser controlado por una tarjeta RS-485. Existen en el mercado conversores de RS-232 a RS-485.

1.8.3.2.3 Buses de campo más importantes⁴⁰

Existen un gran número de buses de campo algunos de ellos propietarios debido, en parte, a la falta de estándares de facto. Cada protocolo está optimizado para diferentes niveles de automatización. En general podemos clasificar los buses de campo en tres grupos fundamentales:

a) Buses de alta velocidad y baja funcionalidad

Diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples; funcionando en aplicaciones de tiempo real, y agrupados en una pequeña zona de la planta, generalmente una máquina. Básicamente comprenden las capas física y de enlace del modelo OSI, es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Algunos ejemplos son:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN.
- ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

b) Buses de alta velocidad y funcionalidad media

Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como configuración, calibración o programación del dispositivo.⁴¹ Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a bajo coste. En general, utilizan mensajes de tamaño medio permitiendo al dispositivo una mayor funcionalidad. Así, se incluyen aspectos como la configuración, la calibración o incluso la programación del dispositivo. Algunos ejemplos son:

40 Miguel Pérez , Juan Álvarez, Juan Campo, Javier Ferrero, Gustavo Grillo; "Instrumentación electrónica", Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., Madrid-España, 2004

41 <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>

- DeviceNet: Está optimizado para el mercado de los dispositivos discretos (todo o nada) como detectores, actuadores e interruptores, donde el tiempo de respuesta y la repetibilidad son factores críticos. Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN.
- LONWorks: Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo enfocado a la comunicación *full-duplex* entre sensores y actuadores.

c) Buses de altas prestaciones

Este tipo de buses gozan de las mayores prestaciones y soportan en general comunicaciones a nivel de toda la factoría. No obstante, debido a las elevadas prestaciones funcionales y de seguridad que soportan, pueden soportar algunos problemas de sobrecarga. Algunas de sus características típicas son: posibilidad de configurar redes con varias estaciones maestras (redes-multimaestro), permitir comunicaciones maestro esclavo, capacidad de direccionamiento *unicast*, *multicast* y *broadcast*, altos niveles de seguridad de la red.

Algunos ejemplos son:

- Profibus
- WorldFIP
- Fieldbus Foundation

d) Buses para áreas de seguridad intrínseca

Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La seguridad intrínseca es un tipo de protección por la que el componente en

cuestión no tiene posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito eléctrico o una parte de un circuito tienen seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito producidos en las condiciones de prueba establecidas por un estándar (dentro del cual figuran las condiciones de operación normal y de fallo específicas) no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son HART, Profibus PA o WorldFIP.

1.8.3.2.4 Buses estandarizados

a) Profibus

La base del estándar Profibus fue un proyecto de investigación llevado a cabo entre los años 1987- 1990 por los siguientes participantes: ABB, AEG, Bosch, Honeywell, Klöckner-Moeller, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, SauterCumulus, Schleicher, Siemens y cinco institutos alemanes de investigación. De este proyecto se concluyó el primer borrador de la norma DIN 19245, el estándar Profibus, partes 1 y 2. La parte 3, ProfibusDP, se definió en 1993. Actualmente, Profibus en sus tres versiones FMS, DP y PA (Figura 1.40), son estándar europeo EN50170.⁴²

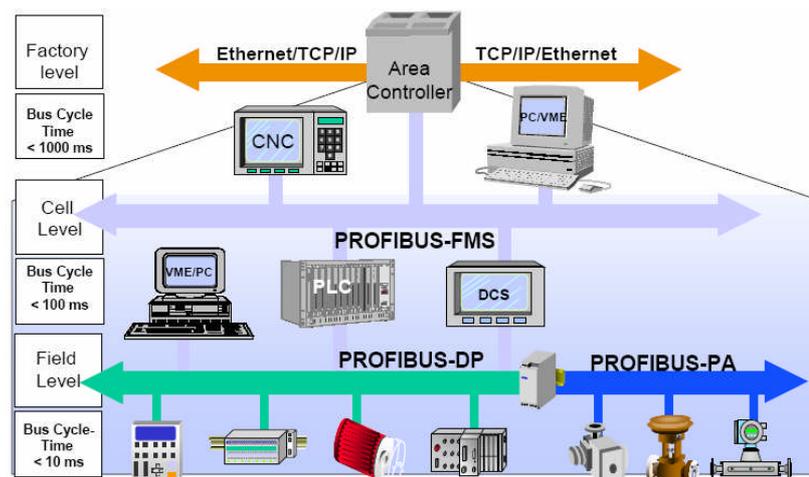


Figura 1.40 Profibus en sus tres versiones FMS, DP y PA

⁴² Ramón Piedrafita Moreno; "Ingeniería de la Automatización Industrial"; Alfaomega; México, D.

Con Profibus los componentes de distintos fabricantes pueden comunicarse sin necesidad de ajustes especiales de interfaces. Profibus puede ser usado para transmisión crítica en el tiempo de datos a alta velocidad y para tareas de comunicación extensas y complejas.

Sus áreas de aplicación incluyen manufacturación, automatización y generación de procesos.

Las características técnicas de Profibus se pueden apreciar en la Tabla 1.3.

Estándar	EN50 170
Método de acceso	Paso de testigo junto con maestro esclavo
Velocidad de transferencia	9,6 1500 Kbit/seg., máx 12 Mbit/seg
Medio de transmisión	Eléctrico: par trenzado apantallado Óptico: fibra óptica (cristal y plástico)
Máx. N° participantes	127
Distancia de red	Eléctrica: máx. 9,6 Km.(depende de velocidad) Óptica:>100 Km.(depende de velocidad)
Topología	Lineal, árbol, estrella, anillo
Aplicaciones	Niveles de campo y de célula

Tabla 1.3 Características técnicas de Profibus

Características principales de las versiones:

- Profibus-DP (Periferia Descentralizada)

- Optimizado para alta velocidad y costo reducido.
- Intercambio de datos cíclico.
- Transferencia de pequeñas cantidades de datos.
- Plug & Play.

- Diseñado especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas en procesos de manufactura.

- Profibus-PA (Automatización de Procesos)

- Básicamente es la ampliación de Profibus-DP con una tecnología apta para ambientes peligrosos y con riesgo de explosión, MBP technology (estándar IEC 1158-2).
- Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común en áreas especialmente protegidas.
- Comunicación de datos y energía en el bus mediante el uso de 2 conductores.
- Destinado a reemplazar la tecnología en lazo 4 a 20 mA en instrumentación y control.

- Profibus-FMS (Fieldbus Messages Specifications)

- Diseñado para un gran número de aplicaciones y comunicaciones al nivel de célula, donde PC's y PLC's se comunican entre sí.
- Comunicaciones de propósito general, supervisión, configuración. Transmisión de grandes cantidades de datos: programas y bloques de datos.
- Intercambio acíclico de datos con tiempos no críticos, par a par (peer to peer), entre estaciones inteligentes.

En la Tabla 1.4 se aprecian las características técnicas de Profibus DP, FMS Y PA.

	PROFIBUS DP	PROFIBUS FMS	PROFIBUS PA
Utilización	Nivel de campo	Nivel de célula	Nivel de campo y célula
Estándar	EN 50 170	EN 50 170	IEC 11582
Equipos conectables	Equipos de campo, accionamientos, válvulas, OP's, PG/PC	PLC, PG/PC, equipos de campo	Equipos de campo, accionamientos, PLC, OP's, PG/PC
T. reacción	1 a 5 ms	menor de 60 ms	menor de 60 ms
Distancia	Sobre 100 Km.	sobre 100 Km	Máx. 1,9 Km.
Velocidad	9,6 Kbit /seg. 12 Mbit/seg.	9,6 Kbit/seg. 1,5 Mbit/seg.	31,25 Kbit/seg.

Tabla 1.4 Características técnicas de Profibus DP, FMS y PA

b) Interbus⁴³

Protocolo propietario, inicialmente, de la empresa Phoenix Contact GmbH, aunque posteriormente ha sido abierta su especificación. Normalizado bajo DIN 19258, norma europea EN 50 254. Fue introducido en el año 1984.

Utiliza una topología en anillo y comunicación mediante un registro de desplazamiento en cada nodo. Se pueden enlazar buses periféricos al principal.

Capa física basada en RS-485. Cada dispositivo actúa como repetidor. Así se puede alcanzar una distancia entre nodos de 400 m para 500 Kbps y una distancia total de 12 Km. Es posible utilizar también enlaces de fibra óptica.

Capa de transporte basada en una trama única que circula por el anillo (trama de suma).

La información de direccionamiento no se incluye en los mensajes, los datos se hacen circular por la red. Alta eficiencia. Para aplicaciones de pocos nodos y un

⁴³ <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>

pequeño conjunto de entradas/salidas por nodo, pocos buses pueden ser tan rápidos y eficientes como INTERBUS.

Físicamente tiene la impresión de seguir una topología en estrella, pero realmente cada nodo tiene un punto de entrada y otro de salida hacia el siguiente nodo.

Es muy sensible a corte completo de comunicación al abrirse el anillo en cualquiera de los nodos. Por otra parte, la estructura en anillo permite una fácil localización de fallos y diagnóstico.

Es muy apropiado para comunicación determinista a alta velocidad, es muy difícil una filosofía de comunicación orientada a eventos.

c) DeviceNet

DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley a mediados de los noventa, posteriormente pasó a ser una especificación abierta soportada en la ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), Cualquier fabricante puede asociarse a esta organización y obtener especificaciones, homologar productos, etc.

DeviceNet es un bus de campo económico para componentes industriales, tales como detectores de final de carrera, detectores ópticos, terminales de válvulas, convertidores de frecuencia, paneles de mando y muchos otros productos.⁴⁴

Es posible la conexión de hasta 64 nodos con velocidades de 125 Kbps a 500 Kbps en distancias de 100 a 500 m.

Utiliza una definición basada en orientación a objetos para modelar los servicios de comunicación y el comportamiento externo de los nodos. Define mensajes y conexiones para funcionamiento maestro-esclavo, interrogación cíclica, "strobing" o lanzamiento de interrogación general de dispositivos, mensajes espontáneos de

44 <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=117&rank=1>

cambio de estado, comunicación uno-uno, modelo productor-consumidor, carga y descarga de bloques de datos y ficheros etc.

DeviceNet ha conseguido una significativa cuota de mercado. Existen más de 300 productos homologados y se indica que el número de nodos instalados superaba los 300.000 en 1998, Está soportado por numerosos fabricantes: Allen-Bradley, ABB, Danfoss, Crouzet, Bosh, Control Techniques, Festo, Omron, .etc.

d) Foundation Fieldbus

FOUNDATION FieldBus es un sistema de comunicación digital, serial, bidireccional que sirve como red a nivel básico de automatización en una planta industrial.⁴⁵

Un bus orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de instrumentación (Fisher-Rosemount, Foxboro,). En la actualidad existe una asociación de fabricantes que utilizan este bus, que gestiona el esfuerzo normalizador, la Fieldbus Foundation. Normalizado como ISA SP50, IEC-ISO 61158.

En su nivel H1 (uno) de la capa física sigue la norma IEC 11158-2 para comunicación a 31,25 Kbps, es por tanto, compatible con Profibus PA, su principal contendiente. Presta especial atención a las versiones que cumplen normas de seguridad intrínseca para industrias de proceso en ambientes combustibles o explosivos. Se soporta sobre par trenzado y es posible la reutilización de los antiguos cableados de instrumentación analógica 4-20 mA. Se utiliza comunicación síncrona.⁴⁶

La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Distingue entre dispositivos con capacidad de

45 www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

46 <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>

arbitración (Link Master) y normales. En cada momento un solo Link master arbitra el bus, puede ser sustituido por otro en caso de fallo. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación por paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor etc. Existen servicios para configuración, gestión de diccionario de objetos en nodos, acceso a variables, eventos, carga descarga de ficheros y aplicaciones, ejecución de aplicaciones, etc.

El nivel H2 (dos) está basado en Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) y orientado al nivel de control de la red industrial.

FOUNDATION fieldbus soporta hasta 32 dispositivos, sin embargo lo típico (limitaciones de voltaje y corriente) es de 16 dispositivos.

e) Lonworks⁴⁷

La empresa Echelon, localizada en California, fue fundada en 1988. Comercializa el bus de campo LonWorks basado en el protocolo LonTalk y soportado sobre el NeuronChip. Alrededor de estas marcas ha construido toda una estructura de productos y servicios, hábilmente comercializados, dirigidos al mercado del control distribuido en domótica, edificios inteligentes, control industrial etc. Asegura que varios miles de empresas trabajan con LonWorks, que cientos de empresas comercializan productos basados en su bus y que se han instalado millones de nodos.

El protocolo LonTalk⁴⁸ cubre todas las capas OSI. El protocolo se soporta en hardware y firmware sobre el NeuronChip. Se trata de un microcontrolador que incluye el controlador de comunicaciones y toda una capa de firmware que, además de implementar el protocolo, ofrece una serie de servicios que permiten el desarrollo de aplicaciones en el lenguaje Neuron C, una variante de ANSI C.

47 <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>

48 El protocolo LonTalk de comunicación para control distribuido fue creado por la empresa Echelon y lo implementa en sus microcontroladores Neuron Chip.

Motorola y Toshiba fabrican el NeuronChip, además Echelon ofrece la posibilidad de abrir la implementación de LonWorks a otros procesadores.

La red Lonworks ofrece una variada selección de medios físicos y topologías de red: par trenzado en bus, anillo y topología libre, fibra óptica, radio, transmisión sobre red eléctrica etc. El soporte más usual es par trenzado a 38 o 78 Kbps. Se ofrece una amplia gama de servicios de red que permiten la construcción de extensas arquitecturas con multitud de nodos, dominios y grupos, típicas de grandes edificios inteligentes.

El método de comparación de medio es acceso CSMA predictivo e incluye servicios de prioridad de mensajes.

f) Modbus⁴⁹

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLC's Modicon. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación-respuesta simple. Debido a que fue incluido en los PLC's de la prestigiosa firma Modicon en 1979, ha resultado un estándar de facto para el enlace serie entre dispositivos industriales.

Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnica de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica.

En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemecanique, Modicon).

⁴⁹ <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc>

g) Industrial Ethernet

La norma IEEE 802.3 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos.

Se puede intercambiar grandes cantidades de datos (en el entorno de Megabytes), transportarlos a grandes distancias (hasta 4,3 Km.), con una velocidad de transmisión de 10/100 Mbit/s.⁵⁰

En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Es indudable esa penetración. Diversos buses de campo establecidos como Profibus, Modbus, etc. han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores (Figura 1.41). En todo caso se buscan soluciones a los principales inconvenientes de Ethernet como soporte para comunicaciones industriales.

El intrínseco indeterminismo de Ethernet se aborda por medio de topologías basadas en conmutadores. En todo caso esas opciones no son gratuitas.

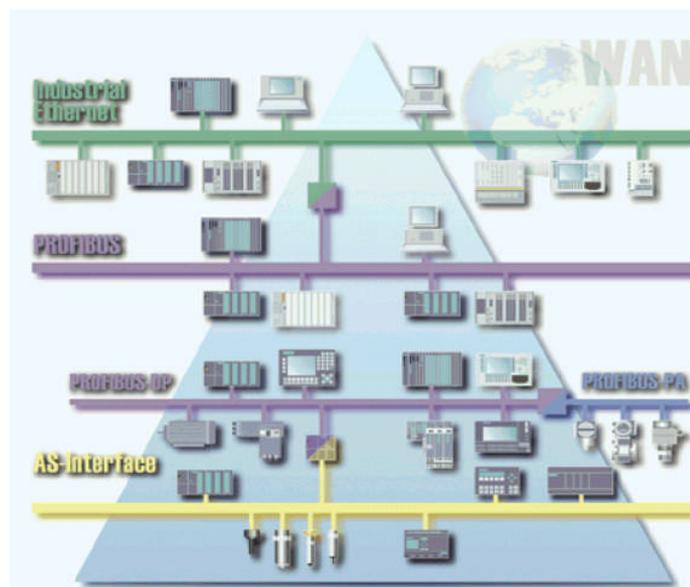


Figura 1.41 Localización de Industrial Ethernet

⁵⁰http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Laboratorio%20de%20Comunicacion%20Industriales/Documentaci%F3n/Industrial%20Ethernet.pdf

Se han de aplicar normas especiales para conectores, blindajes, rangos de temperatura, etc. La tarjeta adaptadora Ethernet empieza a encarecerse cuando se la dota de robustez para un entorno industrial.

h) AS - i (*Actuator Sensor Interface*)

AS-i es un sistema estandarizado, independiente del fabricante, sin bus específico de una marca, compatible con el campo gracias a su máxima resistencia a interferencias eléctricas, este bus permite acoplamientos de los elementos en lugares indistintos mediante uniones mecánicas. Es producto de un proyecto iniciado en 1990 por un consorcio compuesto por 11 empresas fabricantes de sensores y actuadores.⁵¹

El Bus AS-i es un sistema de transmisión de datos y órdenes estándar para sensores y actuadores.⁵²

Está especialmente diseñada para el nivel “más bajo” del proceso de control (Figura 1.42).

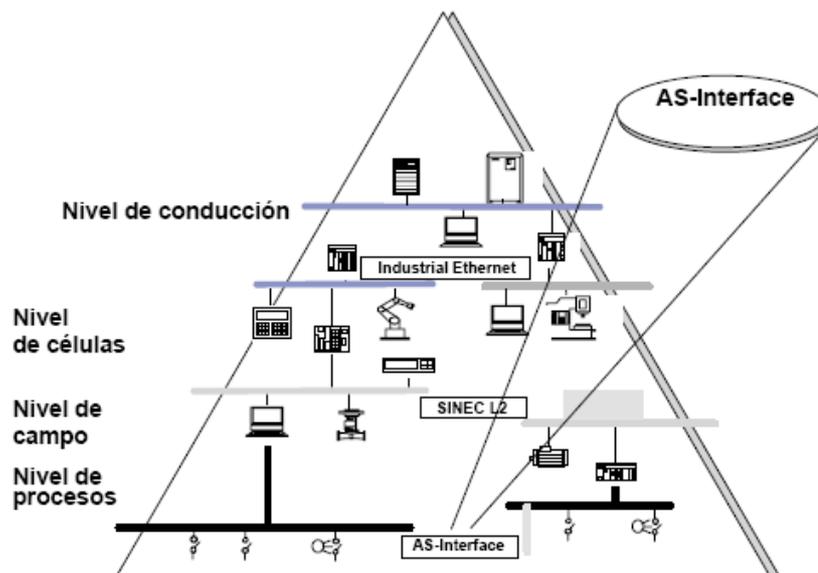


Figura 1.42 Ubicación de AS-i en los niveles de automatización

⁵¹ <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/as-interface.htm>

⁵² Ramón Piedrafita Moreno; “Ingeniería de la Automatización Industrial”; Alfaomega; México, D.F.

A nivel físico, la red puede adoptar cualquier tipo de topología: estructura en bus, en árbol, en estrella o en anillo. Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos (Versión 2.0). La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros. Dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y de puentes hacia redes Profibus. Como medio físico de transmisión, emplea un único cable que permite tanto la transmisión de datos como la alimentación de los dispositivos conectados a la red. Su diseño evita errores de polaridad al conectar nuevos dispositivos a la red. La incorporación o eliminación de elementos de la red no requiere la modificación del cable. El cable consta de dos hilos sin apantallamiento. Para lograr inmunidad al ruido, la transmisión se hace basándose en una codificación Manchester.

Cada esclavo dispone de hasta 4 entradas/salidas, lo que hace que la red pueda controlar hasta 124 E/S digitales. A diferencia con otros sistemas de bus más complejos, la red AS-i se configura de forma automática, el usuario no necesita realizar ningún ajuste, como por ejemplo, derechos de acceso, velocidad de red, tipo de mensaje, etc.

Con AS-i se pueden conectar señales de proceso digitales y analógicas, La comunicación sigue un esquema maestro - esclavo, en la cual el maestro interroga a las estaciones enviándoles mensajes de 14 bits y el esclavo responde con un mensaje de 7 bits. La duración de cada ciclo pregunta respuesta es de 150 μ s. En cada ciclo de comunicación se deben consultar todos los esclavos, añadiendo dos ciclos extras para operaciones de administración del bus (detección de fallos). El resultado es un tiempo de ciclo máximo de 5ms.

Componentes del bus de comunicación industrial AS-i.

Los componentes básicos de la red AS-i son:

1. Maestro AS-i

2. Esclavos
3. Cable AS-i
4. Fuente de alimentación

1.- El maestro AS-i

El maestro de AS-Interface es el que se encarga de recoger los datos de la red y enviárselos al PLC correspondiente, y viceversa. Él mismo organiza el tráfico de datos en el cable AS-Interface y, en caso necesario, pone los datos de los sensores y actuadores a disposición del PLC o de un sistema de bus superior (por ejemplo, PROFIBUS), a través de las denominadas pasarelas DP/AS-Interface. También transmite parámetros de configuración a los esclavos, supervisa la red constantemente y suministrar datos de diagnóstico.

El maestro ejecuta todas sus funciones de manera automática. Además se encarga de realizar el diagnóstico de todo el sistema, reconoce las fallas en cualquier punto de la red, indica el tipo de fallo y determina qué esclavo lo originó.

En la Figura 1.43 se presenta un maestro AS-Interface: CP342-2 para SIMATIC S7-300.



Figura 1.43 Maestro AS-Interface: CP342-2 para SIMATIC S7-300

2.- Esclavos

Los esclavos pueden ser módulos de E/S descentralizados, conectados con el programa de control del PLC. El esclavo de AS-Interface reconoce los bits de datos enviados por el maestro y le devuelve sus propios datos. Hay esclavos de AS-Interface de todos los tipos posibles: Módulos normales (módulos digitales, módulos analógicos, módulos neumáticos, etc.) o módulos inteligentes (arrancadores de motor, columnas de señalización, botoneras, etc.). En la Figura 1.44 se muestra un arrancador de motor. Es interesante notar que los motores se pueden arrancar y proteger dentro de la red, directamente en campo; este ejemplo permite conocer la versatilidad de los esclavos en la red AS-i.



Figura 1.44 El arrancador de motor dentro la red AS-Interface

3.- Cable AS-i

El cable AS-i se ha diseñado como cable bifilar engomado, el perfil especial impide que se puedan conectar estaciones con la polaridad incorrecta. El cable plano amarillo es el estándar, su geometría es fija y asimétrica, se encarga de transmitir los datos de toda la red y la alimentación a los sensores conectados en la misma. Para los actuadores se necesita una alimentación auxiliar (tensión auxiliar de 24 VDC o 230 VAC), para el cable de alimentación auxiliar a 24 VDC se utiliza un cable de color negro, y para el cable de alimentación auxiliar a 230 VAC se utiliza el mismo cable pero en color rojo. No es necesario cortar, pelar ni

atornillar el cable. Para este tipo de conexión se dispone de módulos de acoplamiento en técnica de perforación de aislamiento. El cable AS-i es auto cicatrizante. Esto significa que los agujeros producidos por las cuchillas de contacto en el revestimiento de goma del cable se cierran por sí mismos, restableciendo el grado de protección IP67⁵³. En caso de montaje del cable en un módulo AS-i, el propio cable hermetiza el orificio de entrada (Figura 1.45).

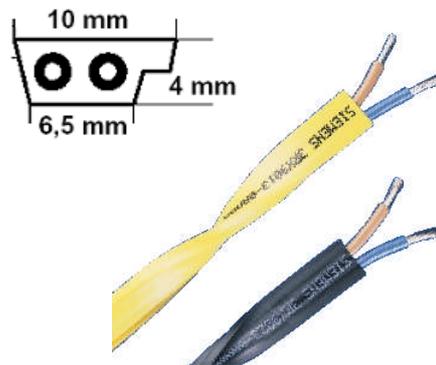


Figura 1.45 Cable AS-i

4.- Fuente de alimentación

La fuente de alimentación para la red AS-Interface suministra una tensión entre 29,5 VDC y 31,6 VDC. Utiliza el acoplamiento integrado de datos y alimentación, es decir, permite transmitir datos y suministra energía a los sensores conectados en la red. Para ello, los datos transmitidos en la red AS-Interface se envían en forma de impulsos, también se encarga de modular la tensión continua en la red. Las salidas de la red se alimentan a través del cable negro perfilado. Para este cable se puede utilizar una fuente de alimentación normal de 24 V DC que cumpla con la especificación PELV (cable de protección a tierra) (Figura 1.46).

⁵³ IP significa Internal Protección, el 6 se refiere a la protección contra partículas sólidas y el 7 a la protección contra fluidos



Figura 1.46 Fuentes de alimentación para AS-Interface

Componentes adicionales:

Existen algunos componentes adicionales en la red AS-i tales como:

- Repetidores
- Pasarelas
- Dispositivo direccionador

Repetidores

La red AS-Interface funciona sin problemas hasta una longitud de 300 metros (sin repetidor hasta 100 metros). En caso de que la instalación necesite más de 100 metros, se puede ampliar la red con 2 repetidores en serie hasta un máximo de 300 metros, 100 metros por cada nuevo segmento. El repetidor trabaja como un amplificador de señal. Los esclavos se pueden conectar en cada uno de los 3 segmentos de la red AS-Interface. Cada segmento necesita su propia fuente de alimentación.

Pasarelas

Si se tienen estructuras de automatización complejas, la red AS-Interface se puede conectar a un sistema de bus superior (por ejemplo, PROFIBUS). Para esto se necesita una pasarela, por ejemplo el DP/AS-i-Link 20E de Siemens, la cual funciona como maestro de AS-Interface, pero como esclavo del sistema de bus superior. La red AS-Interface se encarga de suministrar sus señales binarias al sistema de bus superior para su posterior tratamiento en el programa de PLC.

En la Figura 1.47 se muestra un panorama de la aplicación de la pasarela mencionada, se puede observar como esclavo DP y a la vez maestro de AS-i.

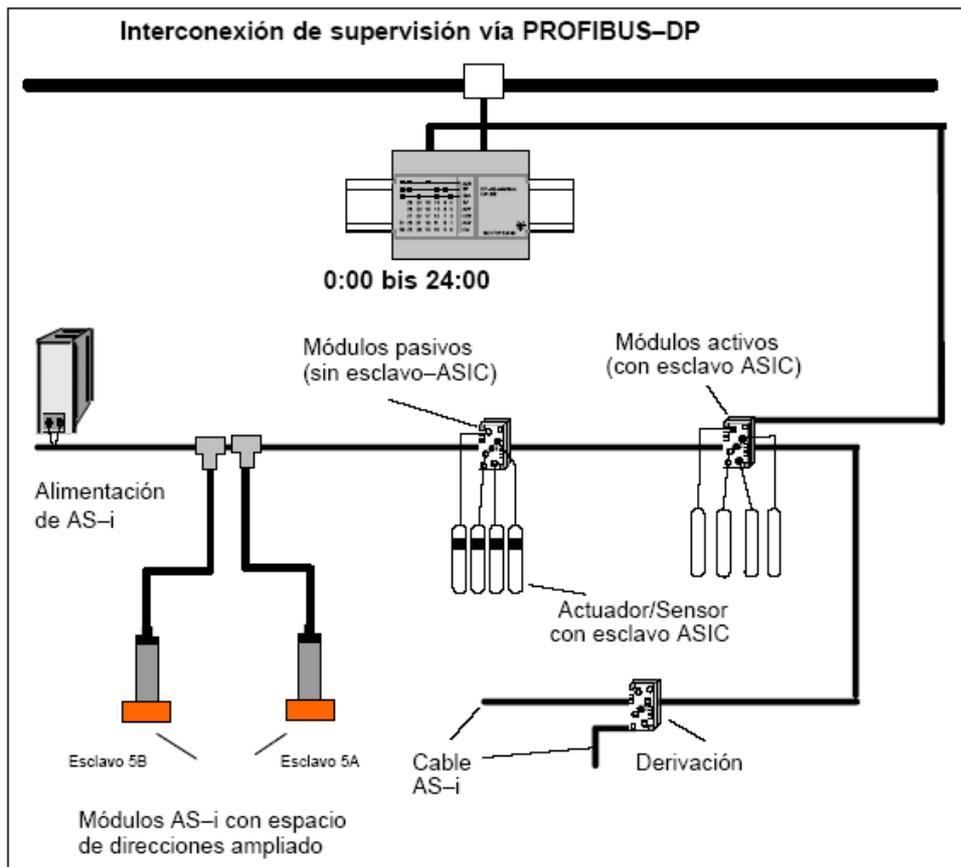


Figura 1.47 Ejemplo de conexión de la pasarela DP AS-i

Dispositivo direccionador

Las direcciones de todos los participantes hay que asignarlas antes de poner en servicio la red AS-Interface. Esto se puede realizar en modo OFFLINE con la ayuda de un dispositivo de programación, o en modo ONLINE por medio del programa del PLC de la CPU del maestro. En algunos esclavos, también se puede realizar después de su montaje en la red, por medio del conector de direccionamiento que llevan integrado.

Las direcciones de esclavo pueden tener un valor entre 1 y 31 (o entre 1A y 31A, y 1B y 31B, en caso de utilizar el perfil ampliado AS-i 2.1). Cualquier esclavo nuevo, tiene por defecto la dirección 0. El maestro reconoce esta dirección y no lo incluye en el proceso de comunicación normal.

La asignación de las direcciones es totalmente libre. Da absolutamente lo mismo si un esclavo posee la dirección 21 o la 28. También es indiferente el orden de los esclavos en la red. Al esclavo con dirección 21 le puede seguir el esclavo con dirección 22 o con dirección 30, por ejemplo (Figura 1.48).



Figura 1.48 Direccionador AS-Interface

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y DISEÑO

2.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

El sistema operará en dos modos: manual y automático, cada uno en forma independiente.

En modo automático el sistema deberá ser capaz de controlar automáticamente el cierre y apertura de dos ventanas laterales, de acuerdo a la dirección del viento; así mismo tendrá la capacidad de controlar los sistemas de riego (foliar, goteo).

En modo manual el usuario controlará el cierre y apertura de las ventanas laterales, encendido y apagado del regadío por goteo y foliar; desde una botonera ubicada en el exterior del cuadro eléctrico.

Tanto en el modo manual y automático, se deberá controlar el cierre y apertura de una puerta, el control se desarrollará desde la misma botonera mencionada anteriormente.

Se deberá tomar medidas de la humedad de suelo y humedad relativa, variables que ayudarán al control del riego en modo automático y manual.

Además el sistema presentará el estado de las ventanas, de los sistemas de regadío y puerta; alarmas de falla de los motores; a través de un conjunto de

lámparas indicadoras o luces piloto ubicadas junto a la botonera. Dicha información deberá ser monitoreada por una PC a través de un HMI. En este HMI además se visualizarán la magnitud de las variables mencionadas anteriormente, históricos y alarmas de sensor defectuoso; a la vez se podrá ingresar el valor del set -point de humedad relativa y el rango de humedad de suelo.

El tablero o cuadro eléctrico estará dividido en dos secciones, la una alojará los dispositivos de control como el PLC y la otra alojará a los dispositivos de potencia.

El sistema deberá estar protegido contra cortocircuitos, sobrecorrientes y sobrecargas.

La comunicación con los sensores y actuadores se deberá realizar por medio de un bus de campo, reduciendo de esta manera el cableado.

Cabe indicar que la ubicación de los elementos el tablero eléctrico, se lo harán de acuerdo a normas establecidas.

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Para la ejecución del proyecto, los autores han estimado conveniente plantear la solución del problema, representado en el diagrama de bloques de la Figura 2.1.

Donde:

B1.- Representa al autómata programable o PLC que se emplea en el proyecto. Debido a la alta capacidad para comunicaciones industriales, se utiliza el autómata Siemens Simatic S7-200 CPU 226 que se encargará de controlar las ventanas, sistemas de riego y puerta con los estados provenientes de los sensores que ingresan al mismo, esto en modo automático; a la vez deberá gestionar las alarmas y comunicar el estado del proceso a un HMI básico o a la PC, de acuerdo a las órdenes enviadas desde una botonera, esto en modo

manual. También realizará la comunicación con la ayuda de un maestro, y así permitirá interactuar con los sensores y actuadores utilizando un bus de campo.

B2.- Fuente. La fuente de alimentación se encarga de suministrar energía a todos los elementos que intervienen en la red y a la vez permite la transmisión de datos.

B3.- Maestro. El maestro se encarga de recoger los datos de la red y los envía al PLC, y viceversa. El mismo organiza el tráfico de datos en el cable del bus de campo.

B4.- Esclavos análogos. El esclavo reconoce los bits de datos enviados por el maestro y le devuelve sus propios datos, en este caso el esclavo podrá recoger datos análogos.

B5.- Sensores. Se emplean algunos tipos de sensores tales como: sensor de humedad de suelo, humedad relativa y dirección del viento; que envían los datos al esclavo y posteriormente éste lo trasmite al maestro.

B6.- Esclavos digitales. Al igual que en los esclavos análogos éstos reconocen los bits de datos enviados por el maestro y devuelven sus propios datos, con la diferencia que éstos pueden recoger y enviar datos digitales.

B7.- Son utilizados para comandar a los elementos de fuerza, en este caso los motores y bomba.

B8.- Corresponde al conjunto de motores con reductor universales, de corriente alterna y con escobillas. Se utilizan para generar movimiento a un grupo de engranajes que mueven un mecanismo móvil que realiza el riego foliar; para el cierre y apertura de ventanas o puerta.

B9.- La bomba es la encargada de aumentar la presión del agua para realizar el riego.

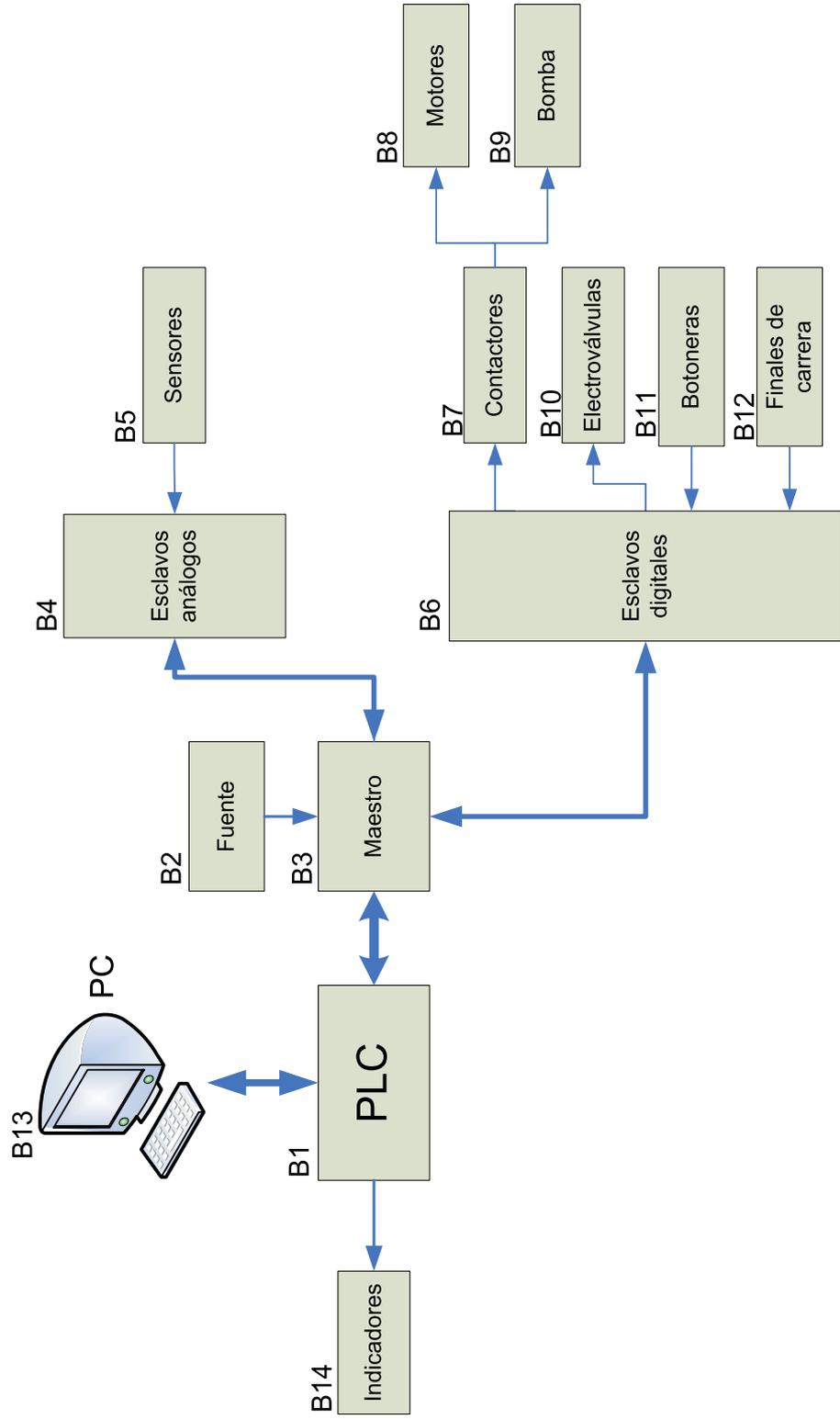


Figura 2.1 Diagrama de bloques del sistema

B10.- Representa al juego de electroválvulas que permiten el paso o no del agua, para realizar el riego foliar o por goteo.

B11.- Botoneras. Son el conjunto de pulsadores de marcha y paro, con contactos normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC), respectivamente; y el paro de emergencia, que permiten la operación segura del sistema.

B12.- Finales de carrera. Son los encargados de verificar el estado de las ventanas, puerta y del sistema mecanizado del riego foliar.

B13.- Es la representación de una PC convencional. Por medio de ella y con el empleo del software STEP 7, se puede entre otras cosas: configurar, programar, parametrizar y monitorear en línea al PLC. En ella se aloja también el HMI que permite el monitoreo en tiempo real de las variables, así como el estado de los actuadores.

B14.- Son un conjunto de luces piloto que indican el estado de las ventanas, puerta y del sistema mecanizado del riego foliar.

2.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL INVERNADERO

2.3.1 Factores a considerar para el diseño del sistema de invernadero

Los factores a considerar para el diseño del sistema de invernadero son:

- **Vientos:** El invernadero debe estar protegido de vientos huracanados, que pueden causar el derribo y destrucción de las estructuras, así como grandes desgarros en los materiales de cubierta, acortando su vida útil.
- **Ligereza:** El armazón debe ser ligero, para que no se reste luminosidad a las plantas cultivadas en el interior. Estructuras muy voluminosas y

pesadas, proyectan grandes sombras, las que retrasan el crecimiento del cultivo y su fructificación.

- Dimensiones y forma: Depende en gran medida de la climatología de la zona, mientras mayores sean las dimensiones del invernadero, los factores climáticos serán más difíciles de controlar.
- Luminosidad interior: El ángulo de inclinación de las techumbres, así como su forma debe ser elegida de acuerdo a la climatología de la zona, es decir, dependiendo del tipo y cantidad de precipitaciones de la zona, se debe elegir la forma (plana, semicircular, en forma de cesta, elípticas, etc.) y pendiente de la techumbre. A mayor pendiente la facilidad de evacuación de aguas es mayor, en desmedro de la resistencia al viento.
- Orientación: En función de los vientos huracanados que se puedan presentar en el lugar, esto implica orientarlos con la fachada más angosta en oposición a dichos vientos. La mayor iluminación se obtiene orientando el invernadero en la dirección este-oeste, no obstante debe conjugarse con la presencia y orientación de los vientos predominantes.
- Higrometría y ventilación: La humedad requerida por las plantas esta en función de la especie y la variedad e incluso de la fase vegetativa de cada una de ellas, por eso es importante en el invernadero, el control de la humedad del aire. La mejor manera de hacerlo es a través de ventilación estática o por ventanas instaladas en los flancos del invernadero y mejor aún en las cumbreras (ventilación cenital); con este último tipo, las condensaciones de agua en las paredes del invernadero desaparecen rápidamente, con lo que se evitan enfermedades y se favorece la fructificación de los cultivos.

Debido a la limitación de recursos económicos del proyecto, se tomó en cuenta además de los factores anteriores, las siguientes consideraciones:

- Se deberá construir un prototipo, el cual deberá ser proporcional al tamaño real.
- No deberá ser tan grande, debido a que el proyecto en su segunda etapa se utilizarán calefactores que no tienen la suficiente potencia para calentar un invernadero más allá de los 110 m^3 . Tampoco deberá ser tan pequeño, porque se quiere un entorno que se asemeje al real.

2.3.2 Diseño de la estructura

2.3.2.1 Selección del tipo de invernadero

Se seleccionó el invernadero techumbre curva, adicionándole ventilación estática cenital (Figura 2.2), ya que cumple con los requerimientos necesitados por el sistema, como son:

- Alta transmitancia a la luz solar.
- Buen volumen interior de aire
- Buena resistencia frente a los vientos.
- Espacio interior totalmente libre.
- Construcción de mediana a baja complejidad.



Figura 2.2 invernadero techumbre curva con ventilación cenital

2.3.2.2 Diseño de la ventilación

Un factor muy importante en un invernadero es la ventilación que éste tenga, por tal razón es necesario tener las ventanas ubicadas correctamente.

El Invernadero tendrá dos ventanas laterales accionadas automáticamente, las cuales se abrirán o cerrarán de acuerdo a las necesidades del sistema. El diseño de éstas, se lo harán de manera que se enrollen verticalmente, provocando de esta manera que no existan tropiezos del personal con las mismas.

También tendrá ventilación cenital, la cual permitirá eliminar las condensaciones de agua en las paredes del invernadero, y ayudará a la circulación del aire.

En la Figura 2.3 se muestra cómo el viento circula en el invernadero.

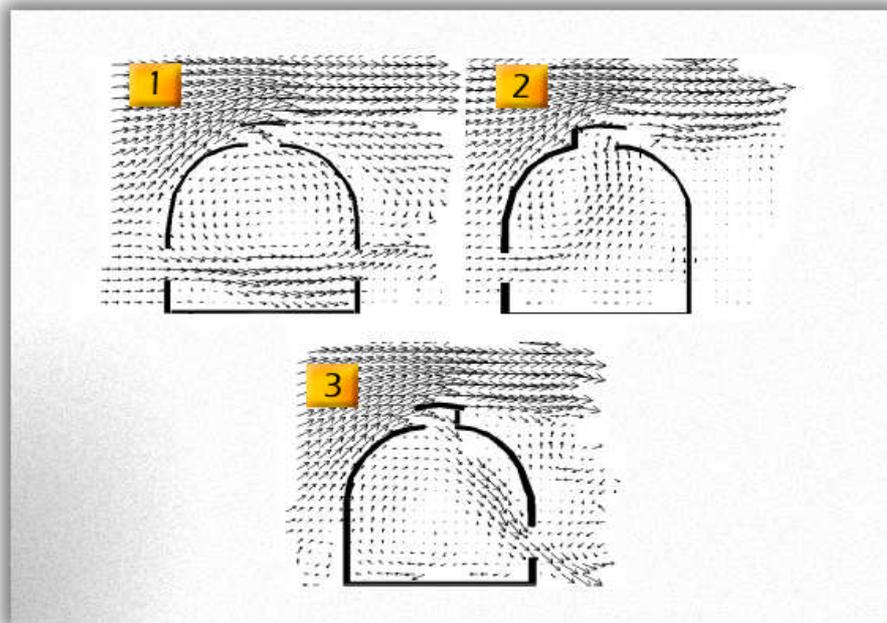


Figura 2.3 Circulación del viento en un invernadero
1) Ventanas laterales 2) Lateral a cenital, 3) Cenital a lateral

2.3.2.3 Dimensiones

Se consideró tener un prototipo, que sea equivalente en proporción al tamaño real, por tanto se tomó las siguientes dimensiones (Tabla 2.1) (Ver Anexo D, Plano Estructural):

	Dimensión (metros)
A	4
B	1
C	2
D	3,50
E	7
F	1,50
G	3

Tabla 2.1 Dimensiones del invernadero

En tamaño real, este tipo de invernadero es común entre 6 a 8 m de ancho, por largo variable, esto según la necesidad. Se consideró como base un invernadero de 8 x 14 m, al cual se le tomó la mitad de las medidas: 4 x 7 m, pero manteniendo el alto de 3,5 m; tal como se mostró en la Tabla 2.1.

2.3.2.4 Material

Por durabilidad y facilidad de manipular (gracias a la gran variedad de maquinaria que se tiene en la actualidad) se escogió como material de la estructura: tubo galvanizado. En la Tabla 2.2 se muestra el espesor de los tubos utilizados.

Localización	Perfil	espesor
base, techumbre	redondo	Ø=2,5''
Laterales	cuadrado	1,5''

Tabla 2.2 Espesor de tubos del invernadero

El material que se usará para la cubierta es polietileno de baja densidad de 0,15 mm de espesor.

2.3.3 Ubicación

Una de las consideraciones que se tomó en cuenta, es la ubicación, ya que de esto depende la durabilidad e iluminación del invernadero.

El invernadero se ubicará posteriormente en el Instituto Agropecuario Superior Andino IASA, en el cual se escogió un terreno, el mismo que se encuentra cubierto por un gran número de árboles que impedirán el paso de vientos huracanados, así mismo está estipulado ubicarlo de este a oeste para tener mayor luminosidad, aunque el tipo mismo del invernadero ayudará de gran manera.

2.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES

La correcta selección de componentes es uno de los aspectos fundamentales en el proceso de automatización, que se ajusta a parámetros técnicos, económicos, disponibilidad en el mercado, etc.

Para una mejor identificación y codificación de los componentes, se asigna la nomenclatura que se empleará posteriormente en los planos del proyecto (Ver Anexo D, Planos Eléctricos).

2.4.1 Selección de tablero

Acogiendo las recomendaciones que existen para la selección de tableros, tanto en lo que se refiere al montaje como para el diseño, se ha creído conveniente disponer de un tablero eléctrico que cumple con las siguientes características. (Tabla 2.3).

Cubículos	2
Dimensiones generales	120 x 160 x 25 cm
Dimensiones cubículo 1	60 x 80 x 25 cm
Dimensiones cubículo 2	60 x 80 x 25 cm
Material constructivo	Tol galvanizado Espesor: 1/32"

Tabla 2.3 Dimensiones del cuadro eléctrico

2.4.2 Selección de motores eléctricos

La correcta selección de un motor conlleva aspectos como: características de accionamiento, potencia, calentamiento y refrigeración, clase de aislamiento, mantenimiento y protecciones.

Específicamente, para la selección de los motores del proyecto, se han tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- Potencia y dimensiones mecánicas
- Tensión y frecuencia de alimentación
- Velocidad
- Facilidad de inversión de giro

2.4.2.1 Motor ventanas laterales (MV1-MV2)

Parámetros deseados:

Tensión: 110 VAC

Frecuencia de alimentación: 60 Hz

Potencia mecánica: 0,18 KW o ¼ HP

Velocidad requerida: 100 rpm

Características del motor seleccionado:

Voltaje: 110 VAC

Corriente: 0,5 A

Frecuencia: 60 Hz

Velocidad: 1200 rpm

Potencia: 0,18 KW

Tipo: Motor universal

2.4.2.2 Motor regadío foliar (MF)

Parámetros deseados:

Tensión: 110 VAC

Frecuencia de alimentación: 60 Hz

Potencia mecánica: 0,18 KW o ¼ HP

Velocidad requerida: 100 rpm

Características del motor seleccionado:

Voltaje: 110 VAC

Corriente: 0,5 A

Frecuencia: 60 Hz

Velocidad: 1200 rpm

Potencia: 0,18 KW

Tipo: Motor universal

2.4.2.3 Motor puerta (MP)

Parámetros deseados:

Tensión: 110 VAC

Frecuencia de alimentación: 60 Hz

Potencia mecánica: 0,18 KW o ¼ HP
Velocidad requerida: 100 rpm

Características del motor seleccionado:

Voltaje: 110 VAC

Corriente: 0,5 A

Frecuencia: 60 Hz

Velocidad: 1200 rpm

Potencia: 0,18 KW

Tipo: Motor universal

2.4.3 Selección de reductores

Como no es posible tener una velocidad tan pequeña por parte de los motores, es necesario seleccionar un reductor que disminuya la velocidad. De acuerdo a la velocidad requerida, poseerá las siguientes características:

Potencia: 1/4 HP

Velocidad (in): 1200 rpm

Velocidad (output):100 rpm

Relación de reducción (I):12:1

Características del reductor seleccionado:

Potencia: 0,25 HP

Velocidad (in):1200 rpm

Velocidad (output):120 rpm

Relación de reducción: 10:1

Tipo: coaxial

Como las características de todos los motores de las ventanas y riego foliar son casi idénticas, se utilizará el mismo tipo de reductor para todos los casos.

Características del reductor del motor de la puerta:

Potencia: 0,25 HP

Velocidad (in): 1200 rpm

Velocidad (output): 85 rpm

Relación de reducción: 14:1

Tipo: coaxial

2.4.4 Selección de bomba (MB)

Tensión: 110 VAC

Frecuencia de alimentación: 60 Hz

Potencia mecánica: 0,37 KW

Corriente: 2 A

Altura de elevación: 2 m

Características de la bomba seleccionada:

Voltaje: 110/220 VAC

Corriente: 2 A

Frecuencia: 60 Hz

Potencia: 0,37 KW

Caudal: 25 l/min.

Altura de elevación máx.: 30 m

Máxima succión: 8 m

2.4.5 Selección de electroválvulas (EVG-EVF)

Para la selección de las electroválvulas se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Presión
- Rosca conexión
- Diámetro
- Solenoide
- Caudal
- Material de fabricación

Características de la electroválvula seleccionada:

Tensión: 24 VAC

Potencia: 1.7 Watt

Corriente: 125 mA

Diámetro: 3/4"

2.4.6 Selección de sensores

La correcta selección de los equipos, y de manera especial de los sensores, es un paso importante, puesto que definirá posteriormente el buen funcionamiento del proceso, y a la vez seguridad a las personas que operarán en el mismo.

2.4.6.1 Sensores de humedad de suelo (SHS1-SHS2)

Para la selección de los sensores de humedad de suelo que se utilizarán en el proyecto, se han tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- Tensión de alimentación
- Corriente de consumo

- Dimensiones físicas
- Señal de salida
- Rango de medida
- Linealidad
- Rango de medida
- Costo

Características de los sensores seleccionados:

Tensión de alimentación: Corriente alterna

Corriente de consumo: < 1 mA

Dimensiones físicas: 7/8" de diámetro y 5 cm. de largo

Señal de salida: 550-28000 Ohms

Rango de medida: 0 - 200 Centibares

Marca: Watermark

En la Figura 2.4 se muestra el gráfico del sensor seleccionado.



Figura 2.4 Sensores de humedad de suelo Watermark

2.4.6.2 Sensor de humedad relativa con trasmisor (SHR)

Para la selección del sensor de humedad relativa que se utilizará en el proyecto, se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- Tensión de alimentación

- Corriente de consumo
- Configuración de salida
- Dimensiones físicas
- Señal de salida
- Rango de medida
- Precisión

Características del sensor seleccionado:

Tensión de alimentación: 10-35 VDC

Precisión: $\pm 2\%$

Señal de salida: 4-20 mA (transmisor)

Rango de medida: 0 – 100 %RH

Peso: 156 g

Marca: DWYER, Modelo: 657-1

En la Figura 2.5 se muestra el gráfico del sensor seleccionado.



Figura 2.5 Sensor de humedad relativa con transmisor incluido

2.4.6.3 Sensores de dirección de viento (SV)

Para la selección del sensor de dirección de viento que se utilizará en el proyecto, se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- Tensión de alimentación
- Corriente de consumo
- Configuración de salida
- Dimensiones físicas
- Señal de Salida
- Rango de Medida

Características del sensor seleccionado:

Tensión de alimentación: Corriente continua

Corriente de consumo: < 1 mA

Dimensiones físicas: 18,5 "de largo x 7.5" de alto x 4.75 "de ancho

Señal de salida: 0 -20 KΩ

Rango de medida: 0°- 360°

Marca: Davis 7911

En la Figura 2.6 se muestra el gráfico del sensor seleccionado.



Figura 2.6 Sensor de dirección de viento Davis 7911

2.4.6.4 Finales de carrera

En el proyecto se utilizan finales de carrera, cuya función es detectar la apertura/cierre de ventanas y puerta. Los parámetros considerados para la selección son:

- Tipo de accionamiento mecánico
- Velocidad de operación
- Corriente máx. que soporta

Las características de los finales de carrera seleccionados se muestran en la Tabla 2.4.

FINAL DE CARRERA	Tipo de accionamiento mecánico	Velocidad de operación (ms)	Corriente máx. que soporta
Final de carrera ventana 1 abierta (SV1A)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera ventana 1 cerrada (SV1C)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera ventana 2 abierta (SV2A)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera ventana 2 cerrada (SV2C)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera foliar inicio (SFI)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera foliar fin (SFF)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera puerta abierta (SPA1)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC
Final de carrera puerta cerrado (SPC1)	Rodillo medio	0.01~1	15 A a 120 VAC

Tabla 2.4 Resultados del proceso de selección de los finales de carrera

2.4.7 Selección de relés, contactores, breakers y guardamotores

Los diferentes equipos utilizados en el proyecto necesitan estar protegidos, para ello se ha creído conveniente la selección de componentes, teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas a continuación.

Elegir un contactor para una aplicación concreta significa fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos⁵⁴. Para seleccionar los contactores se ha considerado los siguientes parámetros:

- Características del circuito o del receptor que se desea controlar (Corriente, voltaje).
- Voltaje y frecuencia de la bobina
- Voltaje y corriente de los contactos

Para la selección de relés, se han tomado las siguientes consideraciones:

- Voltaje de control
- Voltaje y corriente de los contactos

Los guardamotores, que son dispositivos de protección eléctrica contra sobrecarga y sobrecorriente, tienen los siguientes parámetros de selección:

- Rango de corriente nominal
- Corriente de cortocircuito
- Contacto auxiliar

Para la selección de los interruptores termomagnéticos (breakers), que son protecciones contra cortocircuito y sobrecargas, se considera los siguientes parámetros de selección:

- Corriente de cortocircuito

⁵⁴ Schneider Electric, "Manual electrotécnico Telesquemario", España, 1999

- Tensión de los contactos
- Número de polos

En las Tablas 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8 se indican los resultados del proceso de selección de los componentes mencionados:

CONTACTOR	Bobina		Contactos principales		
	Tensión (VAC)	Frecuencia (Hz)	Tensión (VAC)	Corriente (A)	Potencia (KW)
Contactador paro de emergencia (K1)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de apertura de puerta (KPD)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de cierre de puerta (KPI)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de apertura de ventana1 (KV1D)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de cierre de ventana1 (KV1I)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de apertura de ventana2 (KV2D)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de cierre de ventana2 (KV2I)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador del motor de riego foliar, sentido de giro derecho (KFD)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador del motor de riego foliar, sentido de giro izquierdo (KFI)	110-120	50-60	400	17	7,5
Contactador de bomba (KB)	110-120	50-60	400	17	7,5

Tabla 2.5 Resultados del proceso de selección de los contactores

RELÉ	Bobina	Contactos	
	Voltaje de control (VAC)	Voltaje de línea (VAC)	Rango de corriente de carga (A)
Relé electroválvula foliar (EVF)	24	250	10
Relé electroválvula goteo (EVG)	24	250	10

Tabla 2.6 Resultados del proceso de selección de los relés

GUARDAMOTOR	Rango de corriente (A)	Corriente de cortocircuito (A)
Guardamotor del motor de la puerta (Q1)	0,7-1	12
Guardamotor del motor de la ventana1 (Q2)	0,7-1	12
Guardamotor del motor de la ventana2 (Q3)	0,7-1	12
Guardamotor del motor del riego foliar (Q4)	0,7-1	12
Guardamotor de la bomba (Q5)	1,8-2,5	12

Tabla 2.7 Resultados del proceso de selección de los guardamotores

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	Corriente de Cortocircuito (A)	Tensión de Contactos (VAC)	Número de polos
Interruptor termomagnético de la etapa de control (Q6)	10	230	2
Interruptor termomagnético del PLC (Q7)	3	400	2
Interruptor termomagnético de la fuente de 24V (Q8)	3	400	2
Interruptor termomagnético de la fuente AS-I (Q9)	3	400	2
Interruptor termomagnético general (Q0)	63	380	3

Tabla 2.8 Resultados del proceso de selección de los interruptores termomagnéticos

2.4.8 Selección de botoneras y luces piloto

En el exterior del tablero eléctrico existen generalmente dispositivos de señalización y de maniobra, y éste no es la excepción; siendo los criterios de selección los siguientes:

- Corriente y tensión de alimentación (luces piloto)
- Color
- Diámetro

En la Tabla 2.9 y 2.10 se muestra el resultado de la selección de botoneras y luces piloto.

DISPOSITIVOS DE SEÑALIZACIÓN	Color	Diámetro (mm)	Tensión (VAC)
Lámpara indicadora de encendido automático (H1)	Verde	23	Máx. 250
Lámpara indicadora de apagado automático (H2)	Rojo	23	Máx. 250
Lámpara indicadora de puerta abierta (H3)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de puerta cerrada (H4)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de ventana 1 abierta (H5)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de ventana 1 cerrada (H6)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de ventana 2 abierta (H7)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de ventana 2 cerrada (H8)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de encendido de riego foliar (H9)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de encendido de riego por goteo (H10)	Verde	23	100-120
Lámpara indicadora de falla de motor puerta (H11)	Rojo	23	100-120
Lámpara indicadora de falla de motor ventana 1 (H12)	Rojo	23	100-120
Lámpara indicadora de falla de motor ventana 2 (H13)	Rojo	23	100-120
Lámpara indicadora de falla de motor foliar (H14)	Rojo	23	100-120
Lámpara indicadora de falla de bomba (H15)	Rojo	23	100-120

Tabla 2.9 Resultados del proceso de selección de los dispositivos de señalización

DISPOSITIVOS DE MANDO	Contacto	Color	Diámetro (mm)
Paro de emergencia (S0)	NC	Rojo	30
Selector automático/manual (S1)	NA	Negro	23
Pulsador de encendido automático (S2)	NA/NC	Verde	23
Pulsador de apagado automático (S3)	NA/NC	Rojo	23
Pulsador de apertura de puerta (S4)	NA	Verde	23
Pulsador de cierre de puerta (S5)	NA	Verde	23
Pulsador de apertura de ventana 1 (S6)	NA	Verde	23
Pulsador de cierre de ventana 1 (S7)	NA	Verde	23
Pulsador de apertura de ventana 2 (S8)	NA	Verde	23
Pulsador de cierre de ventana 2 (S9)	NA	Verde	23
Pulsador de encendido de riego foliar (S10)	NA	Verde	23
Pulsador de apagado de riego foliar (S11)	NC	Rojo	23
Pulsador de encendido de riego por goteo (S12)	NA	Verde	23
Pulsador de apagado de riego por goteo (S13)	NC	Rojo	23

Tabla 2.10 Resultados del proceso de selección de los dispositivos de mando

2.5 DISEÑO DE HARDWARE

Para realizar la toma de señales desde campo hacia PLC se tomó la decisión de utilizar AS-Interface; que es un sistema de maestro único para sistemas de automatización de Siemens; por lo que existen procesadores de comunicación (CPs) y transiciones de red (módulos Link) que controlan como maestros la comunicación de proceso y de campo, así como actuadores y sensores, que responden como esclavos AS-Interface.

2.5.1 Diseño del hardware del PLC

El PLC el cual, además de controlar todas las operaciones del invernadero, le dará mayor robustez al sistema de control frente a entornos hostiles como ambientes de campo o industriales; por lo tanto el hardware del PLC de acuerdo a las necesidades del proyecto consta de los siguientes parámetros a considerar:

2.5.1.1 Diseño de la CPU

La CPU del PLC tendrá la capacidad de cubrir las siguientes necesidades (Tabla 2.11, 2.12 y 2.13):

Descripción	Requerimiento
Memoria de programa y datos	Mayor a 8 Kb
Temporizadores	Mayor o igual a 4
Módulos de expansión	Comunicación AS-i
Alimentación	110-220 VAC

Tabla 2.11 Requerimientos básicos de la CPU

Descripción	Requerimiento
Número de entradas	Mayor o igual a 5
Tipo de entrada	VDC
Tensión de entrada	24 VDC
Longitud de cable	Menor a 3 m

Tabla 2.12 Requerimientos Entradas de la CPU

Descripción	Requerimiento
Número de Salidas	Mayor o igual a 16
Tipo de salida	A Relé
Tensión de salida	24 a 110 VAC
Corriente de carga	20 mA
Longitud de cable	Menor a 3 m

Tabla 2.13 Requerimientos Salidas de la CPU

Realizando un análisis de lo anterior, se decidió optar por el PLC S7 200 con CPU 226, gracias a sus prestaciones que se encuentran descritas en Anexo C, Hoja de Especificaciones Técnicas.

2.5.1.2 Diseño de la fuente de DC

En cuanto a las necesidades de la fuente de alimentación, se tiene las siguientes:

- Fuente externa para activación de entradas discretas de PLC.
- Fuente Auxiliar para esclavos de campo AS-Interface tanto analógicos como digitales⁵⁵

Tomando en cuenta que la demanda, en el peor de los casos es toda la carga instalada y un factor de seguridad, para futuras expansiones, la fuente seleccionada (Figura 2.7) posee las siguientes características (Tabla 2.14):

Voltaje de alimentación	120/230 VAC
Voltaje de salida	24 VDC
Corriente	5 A
Protecciones	Cortocircuito, sobrecarga
Marca	Siemens, Sitop

Tabla 2.14 Características de la fuente de alimentación



Figura 2.7 Fuente SITOP 24V/5A

⁵⁵ Consideración tomada en cuenta a pesar de no necesitar para el proyecto, debido a que en la segunda etapa del mismo se usarán salidas de los esclavos analógicos para activar actuadores.

2.5.2 Diseño de acondicionamientos de sensores

Los sensores de humedad de suelo y de dirección de viento no tienen salidas normalizadas como por ejemplo: 1 a 5 VDC, 4-20 mA, etc. Para lograr estos valores normalizados se debe realizar acondicionamientos utilizando para ello amplificadores operacionales, PIC's, etc.

2.5.2.1 Acondicionamiento del sensor de viento

El sensor de viento entrega una variación de resistencia (0 -20 K Ω), de acuerdo a la dirección del viento (0-360 $^\circ$); luego de haber realizado pruebas, se determinó que el sensor no es lineal, y además tiene un rango de zona muerta de 5 $^\circ$.

Para tener una señal normalizada y común en todos los sensores utilizados en el proyecto, se decidió realizar un acondicionamiento con salida de 4-20 mA.

En la Figura 2.8 se indica el diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de viento.

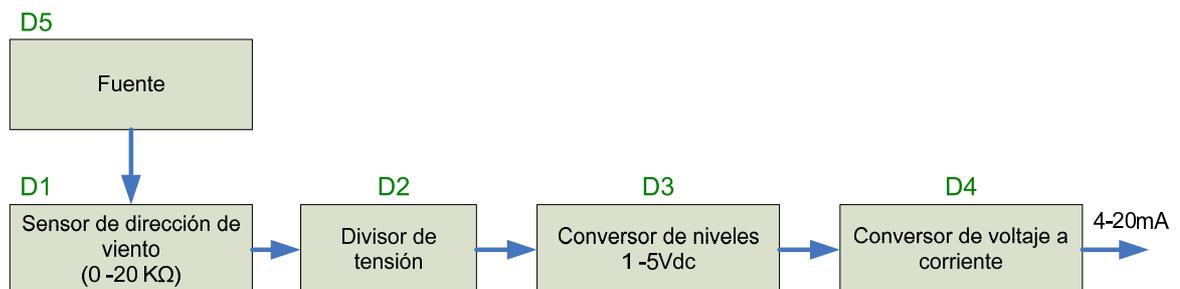


Figura 2.8 Diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de viento

Donde:

D1.- Sensor de dirección de viento. Este sensor suministra un valor de resistencia de acuerdo a la dirección del viento.

D2.- Divisor de tensión. Se encarga de entregar un valor de voltaje proporcional a la resistencia.

D3.- Conversor de niveles. En esta etapa se realiza la escalización, para tener valores de 1 a 5 VDC.

D4.- Conversor de voltaje a corriente. Es la encargada de convertir voltaje a corriente (4-20 mA).

D5.- Fuente. Es la encargada de suministrar energía al sensor y elementos utilizados en el acondicionamiento.

En el Anexo D, Planos Eléctricos, se indica los planos de la placa del acondicionamiento.

2.5.2.2 Acondicionamiento del sensor de humedad de suelo

El sensor de humedad de suelo entrega una variación de resistencia (550-28000 Ω), de acuerdo a la humedad de suelo (0-200 Centibares).

Para el diseño del acondicionamiento se tomó las siguientes consideraciones, dadas por el fabricante:

- La resistencia del sensor es inversamente proporcional a la temperatura del suelo. No es recomendable aplicar al sensor una tensión continua, ya que los electrodos se pueden dañar por efecto electrolítico.
- La corriente a través del mismo no debe superar 1 mA. (Para obtener una mayor vida útil).

Para tener una señal normalizada y común en todos los sensores utilizados en el proyecto, se decidió realizar un acondicionamiento con salida de 4-20 mA.

En la Figura 2.9 se indica el diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de humedad de suelo.

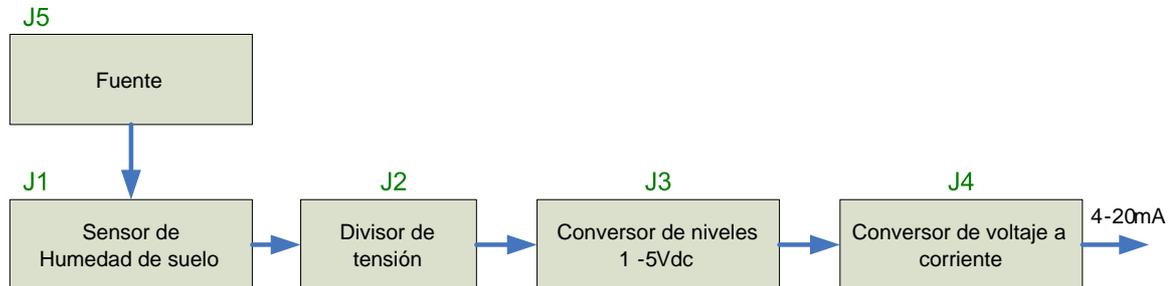


Figura 2.9 Diagrama de bloques del acondicionamiento del sensor de humedad de suelo

Donde:

J1.- Sensor de humedad de suelo. Este sensor suministra un valor de resistencia de acuerdo a la humedad que tiene el suelo.

J2.- Divisor de tensión. Se encarga de entregar un valor de voltaje proporcional a la resistencia.

J3.- Convertor de niveles. En esta etapa se realiza la escalización, para tener valores de 1 a 5 VDC.

J4.- Convertor de voltaje a corriente. Es la encargada de convertir voltaje a corriente (4-20 mA).

J5.- Fuente. Es la encargada de suministrar energía al sensor y elementos utilizados en el acondicionamiento.

2.6 DISEÑO DE LA RED DE ENTRADA SALIDA

Para la red de entrada/salida del proyecto se consideró lo siguiente:

Para monitorizar el estado de los procesos, es decir la comunicación con PG/PC se realizó mediante la utilización del cable multimaestro USB/PPI S7-200, que se trata de la interfaz integrada, especialmente para la serie S7-200 el cual es un acoplamiento punto a punto; por lo que se tiene acoplamiento serie de dos interlocutores de comunicación (Figura 2.10) .

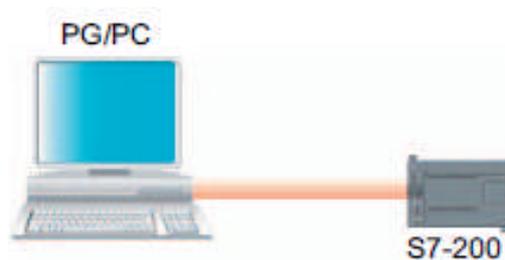


Figura 2.10 Comunicación con PG/PC

2.6.1 Diseño del OPC

Tomando en cuenta que el requerimiento es que el OPC esté en la capacidad de soportar el puerto USB del cable multimaestro USB/PPI S7-200 que se seleccionó, se tomó la decisión de utilizar el servidor OPC S7-200 PC Access, con el cual se puede crear una comunicación entre un S7-200 y WinCC. El servidor OPC S7-200 PC Access, se puede acoplar a través de los siguientes tipos de enlace con el S7-200:

- PPI a través de un cable PC/PPI.
 - Cable USB/PPI
 - Cable RS232/PPI 3CB30-0XA0)
 - Cable RS232/PPI

- MPI y PROFIBUS a través de las CPs de PROFIBUS.

-CP5611, CP5511, CP5512

- Módems internos y externos, y el módulo módem S7-241.
- Ethernet Tecnología para redes de área local (LAN) y redes de área extensa (WAN) a través de la CP243-1 o la CP243-1 IT.

Utilizando el servidor OPC S7-200 PC Access, se pueden leer simultáneamente, como máximo, datos de 8 sistemas destino "S7-200" El servidor OPC S7-200 PC Access comprende elementos tanto de servidor, como de cliente.

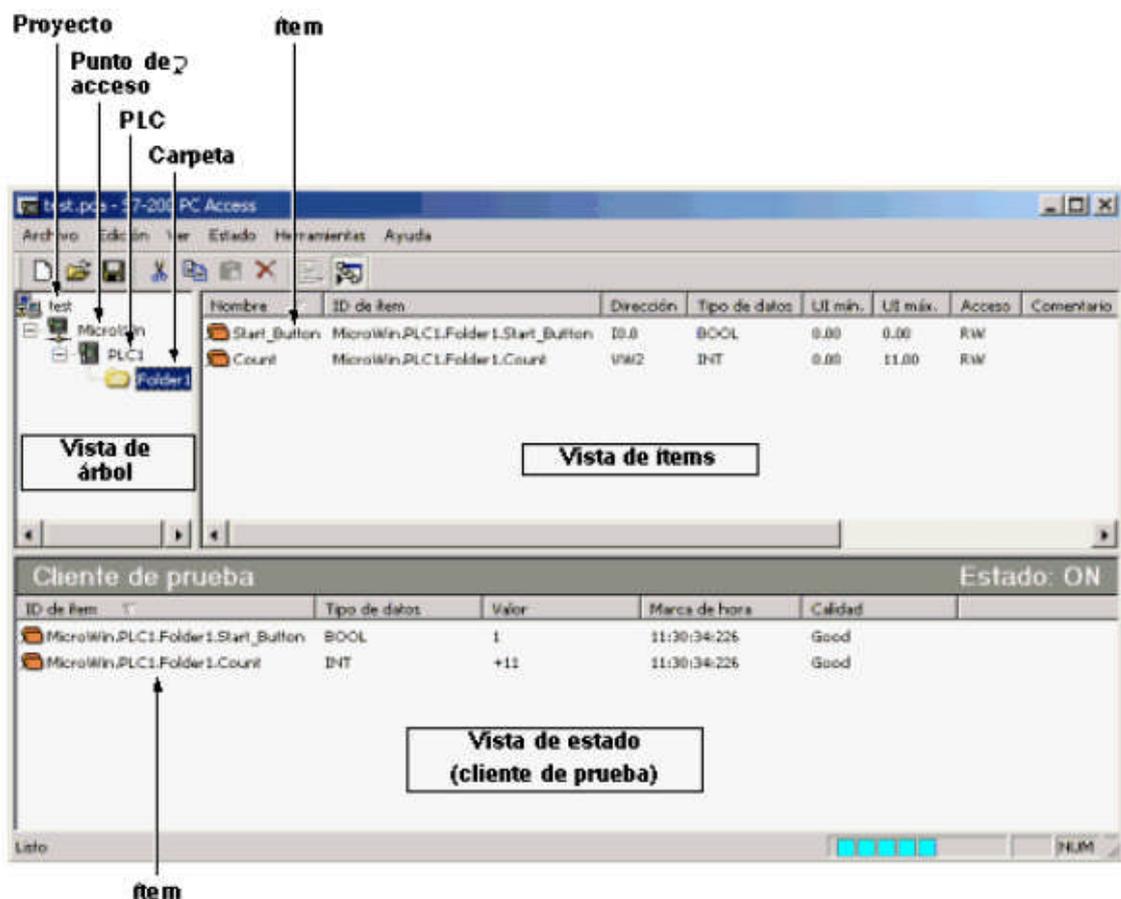


Figura 2.11 Contenidos en el área del servidor OPC

Los objetos contenidos en el área del servidor OPC del proyecto aparecen organizados en forma de árbol jerárquico (jerarquía del proyecto). Este árbol es

similar al Explorador de Windows, siendo diferentes sólo los iconos de los objetos (Figura 2.11).

Los objetos contenidos en el área del cliente OPC (cliente de prueba) se visualizan en forma de lista.

2.6.2 Diseño de red AS-Interface

Los componentes básicos de la red AS-Interface son:

- Maestro AS-Interface.
- Esclavos AS-Interface.
- Cable AS-Interface.
- Fuente de alimentación AS-Interface.

2.6.2.1 Diseño del maestro AS-Interface

Para que exista la comunicación de los esclavos, es necesario contar con un módulo maestro AS-Interface, el mismo que debe satisfacer lo indicado en la Tabla 2.15.

Descripción	Requerimiento
Puerto	AS-Interface
Protocolos soportados	AS-Interface
Velocidad de transferencia	Rápido, Orden de los milisegundos
Esclavos conectados	4
Indicadores de estado error	Si
Longitud de cable	Mayor a 10 m

Tabla 2.15 Requerimiento maestro AS-Interface

Tomando en cuenta la CPU utilizada, se encuentra que todas las CPUs a partir de la 222 pueden operar como maestro de AS-Interface, vía módulo AS-Interface CP

243-2 (Ver Anexo C, Hojas de Especificaciones Técnicas), por tal razón este módulo esta dentro de lo requerido.

2.6.2.2 Diseño de esclavos digitales AS-Interface.

Los requerimientos para la toma de señales digitales en campo, se muestran en la Tabla 2.16:

Descripción	Requerimiento
Número de entradas	8
Tipo de entradas	Transistor PNP, Contacto seco
Conectores	M12
IP	65

Tabla 2.16 Requerimiento esclavos digitales AS-Interface para campo

Para aplicaciones en el campo con un grado de protección elevado, se ofrecen tres series con módulos compactos AS-Interface adaptados entre sí, incluyendo módulos compactos digitales y analógicos (Figura 2.12 y Tabla 2.17):

- serie K60 (digital y analógica).
- serie K45 (digital).
- serie K20 (digital).



Figura 2.12 Esclavos digitales AS-Interface para campo

Todos los módulos compactos se caracterizan por su extraordinaria facilidad de manejo. Los módulos K60 y K45 se montan con una placa de montaje. La placa de montaje sirve para alojar los cables planos AS-Interface y posibilita el montaje mural o el montaje en riel.

Versión	K60	K45	K20
8 entradas/2 salidas	✓	—	—
8 entradas	✓	—	—
4 entradas/4 salidas	✓	✓	✓
4 entradas/3 salidas	✓	—	—
4 entradas/2 salidas	✓	—	—
4 entradas	✓	✓	✓
2 entradas/2 salidas	—	✓	✓
4 salidas	✓	✓	✓
3 salidas	—	✓	—

Tabla 2.17 Entradas/salidas de Esclavo digital para campo

Tomando en cuenta las necesidades del proyecto se eligieron 2 esclavos digitales K60, los mismos que cuentan con 4 entradas/4 salidas, cada uno; se utilizarán las 8 entradas de los esclavos, y las ocho salidas estarán disponibles para poder ampliar la automatización.

Para la selección de esclavos que se ubicarán en el tablero, se deben considerar las necesidades, que se muestran en la Tabla 2.18.

Descripción	Requerimiento
Número de entradas	14
Tipo de entradas	Transistor PNP, Contacto Seco
Numero salidas	9
Tipo de salidas	Relé
IP	20
Conectores	Ajuste por tornillo

Tabla 2.18 Requerimiento de esclavos digitales AS-Interface para tablero.

Para aplicaciones AS-Interface en armarios eléctricos, se ofrecen varias series de módulos acordes a los diferentes requerimientos:

- SlimLine S22.5
- SlimLine S45
- Módulo F90
- Módulo plano



Figura 2.13 Esclavos digitales para tablero

Todos los módulos de estas series se pueden sujetar directamente en rieles o fijarse con tornillos (Figura 2.13 Tabla 2.19).

Serie	Gama	Montaje en perfil de 35 mm según EN 50022	Montaje mural con adaptadores para fijación (referencia: 3RP1 903)	Otras posibilidades
SlimLine S22.5	<ul style="list-style-type: none"> • 4E (módulos estándar y módulos A/B) • 4S • 2E/2S (salidas electrónicas / por relé) • contadores¹⁾ • módulo detector de defectos a tierra¹⁾ 	✓	✓	–
SlimLine S45	<ul style="list-style-type: none"> • 4E/4S (salidas electrónicas / por relé) • 4E/4S con E/S aisladas galvánicamente • 4E/3S (módulos A/B) • 4E/4S (módulos A/B seg. espec. 3.0) 	✓	✓	–
Módulo F90	<ul style="list-style-type: none"> • 4E/4S (bornes de tornillo) • 4E/4S (conexión por conector Combicon) • 16E 	✓	–	–
Módulo plano	<ul style="list-style-type: none"> • 4E/4S (bornes de tornillo) 	–	–	adaptadores integrados para la fijación por tornillos

Tabla 2.19 Entradas/salidas de esclavo digital para tablero.

Los módulos AS-Interface con IP20, tienen bornes para la conexión directa de los cables AS-Interface y por eso no necesitan la base.

De las consideraciones antes mencionadas en la Tabla 2.18, se seleccionó 4 módulos SlimLine S45, cada uno con 4 entradas/4 salidas que satisface con las 14 entradas y 9 salidas del proyecto.

2.6.2.3 Diseño de esclavos analógicos AS-Interface.

Para la adquisición de señales análogas en campo, los esclavos deben disponer de las características que se muestran en la Tabla 2.20.

Descripción	Requerimiento
Número de entradas	3
Tipo de entradas	Corriente, 4-20 mA
Conectores	M12
IP	65

Tabla 2.20 Requerimiento esclavos analógicos AS-Interface

Los módulos analógicos AS-Interface de la serie compacta K60 registran o suministran señales analógicas a nivel local (Figura 2.14). Estos módulos se conectan al mando de nivel superior a través de un maestro AS-Interface. Los módulos analógicos se subdividen en cinco grupos (Tabla 2.21):

- Módulo de entrada para sensores con señal de corriente.
- Módulo de entrada para sensores con señal de tensión.
- Módulo de entrada para sensores de termorresistencia.
- Módulo de salida para actuadores de corriente.
- Módulo de salida para actuadores de tensión.

Versión		
Módulos E/S analógicos IP67 - K60, perfil analógico 7.3		
<ul style="list-style-type: none"> • tipo de esclavo: estándar • los módulos se suministran sin placa de montaje 		
<i>Entradas</i>	<i>Tipo</i>	<i>Rango de medida</i>
1 ó 2 entradas (conmutables vía conector de puente en el conector hembra 3)	intensidad	4 ... 20 mA ó ± 20 mA (variable)
	tensión	± 10 V ó 1 ... 5 V (variable)
	termorresistencia	Pt 100 ó Ni 100 ó 0 ... 600 Ω(variable)
4 entradas	intensidad	4 ... 20 mA ó ± 20 mA (variable)
	tensión	±10 ó 1 ... 5 V (variable)
	termorresistencia	Pt 100 ó Ni 100 ó 0 ... 600 Ω (variable)
<i>Salidas</i>	<i>Tipo</i>	<i>Rango de salida</i>
2 salidas	intensidad para actuadores a 2 hilos	4 ... 20 mA ó ± 20 mA ó 0 ... 20 mA (variable)
	tensión para actuadores a 2 hilos	±10 ó 0 ... 10 V ó 1 ... 5 V (variable)

Tabla 2.21 Entradas/salidas esclavos para esclavos analógicos

De la Tabla 2.21 anterior se consideró utilizar el esclavo analógico de 4 entradas y rango de medida de corriente de 4 a 20 mA, el mismo que satisface todas las necesidades del proyecto.



Figura 2.14. Esclavo analógico

2.6.2.4 Diseño del cable AS-Interface

Debido al tipo conexión y a los esclavos seleccionados se optó por adquirir 100m del cable AS-Interface que tiene un acoplamiento en técnica de perforación de aislamiento (Figura 2.15). El cable AS-i es auto cicatrizante; esto significa que los

agujeros producidos por las cuchillas de contacto en el revestimiento de goma del cable se cierran por sí mismos, restableciendo el grado de protección IP67; en donde IP significa Internal Protection, el 6 se refiere a la protección contra partículas sólidas y el 7 a la protección contra fluidos. En caso de montaje del cable en un módulo AS-i, el propio cable hermetiza el orificio de entrada.



Figura 2.15 Cable AS-Interface

2.6.2.5 Diseño de la fuente de alimentación AS-Interface

La fuente de alimentación para AS-Interface forma parte de los componentes imprescindibles para el funcionamiento de una red AS-Interface. Realiza la alimentación del sistema electrónico de la red (módulos AS-Interface y maestros AS-Interface) y de los sensores conectados. Además, las fuentes de alimentación AS-Interface aseguran la separación de datos y energía gracias a la función integrada del desacoplamiento de datos, y así es posible transmitir datos y energía con AS-Interface por una sola línea. Para la selección de la fuente AS-i se consideró el consumo total de corriente de los dispositivos que serán alimentados por la misma (Tabla 2.22).

Componente	Cantidad de esclavos	Corriente (mA)
Entradas Digitales k60	2	540
Entradas Digitales s45	4	1080
Entradas Analógicas k60	1	150
Consumo total		1770

Tabla 2.22 Requerimiento para fuente AS-Interface

De acuerdo a los requisitos de la Tabla 2.22 se adquirió la Fuente de alimentación AS-Interface IP20 conmutable, con una intensidad de salida 5 A y una tensión de entrada de 120/230 VAC (Figura 2.16).



Figura 2.16 Fuente AS-i

2.6.2.6 Diseño de la topología

La red AS-Interface soporta todas las topologías. Por lo tanto se eligió optar por realizar una configuración tipo árbol en la anexión de los esclavos en tablero y tipo bus para esclavos en campo. Ver Anexo D, Planos Eléctricos (Red AS-Interface).

2.6.2.7 Diseño de Distribuidores

Para la topología elegida es necesario hacer derivaciones en el cable perfilado, como se muestra en la Figura 2.17.

Estas derivaciones se consiguen utilizando distribuidores K45. El distribuidor K45 consta del módulo de distribuidor y una placa de montaje, que al atornillar el módulo y la placa, se contactan de forma rápida simple con el cable AS-i (Figura 2.18).

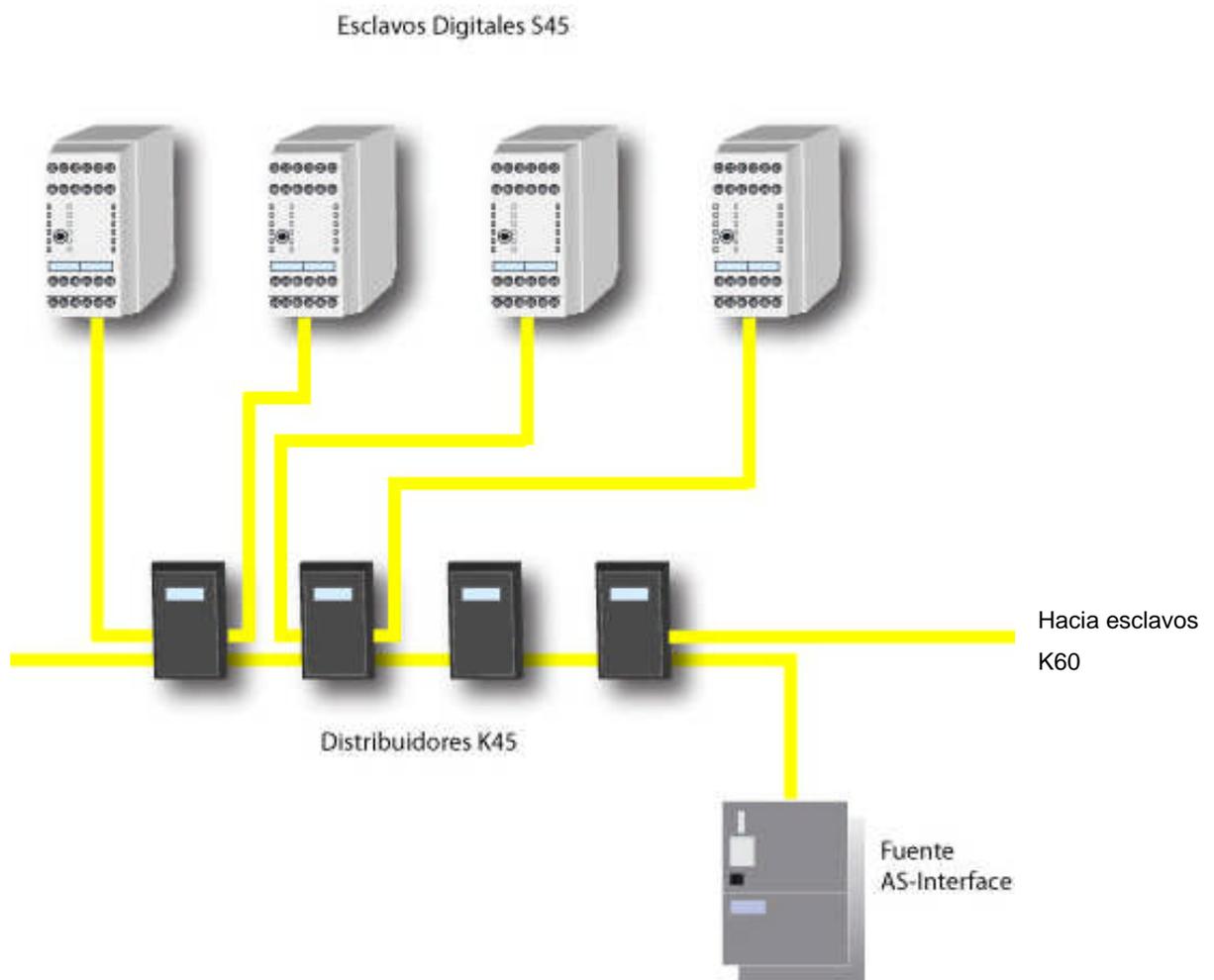


Figura 2.17 Derivación de red



Figura 2.18 Distribuidor K45

2.6.2.8 Direccionamiento y parametrización de esclavos AS-i

Los esclavos AS-i necesitan estar identificados por el maestro, para ello se le asigna una dirección a través del direccionador AS-i o mediante el software STEP 7--Micro/WIN.

Además de direccionarle al esclavo analógico, se necesita parametrizar, con el fin de configurarlo para que trabaje con un sensor de 4 o 2 hilos.

En Tabla 2.23 se muestra la dirección de los esclavos AS-i utilizados en el proyecto.

Esclavo	Tipo	Ubicación	Dirección	Parametrización
S45	Digital	Tablero	10	----
S45	Digital	Tablero	11	----
S45	Digital	Tablero	12	----
S45	Digital	Tablero	13	----
K60	Digital	Campo	14	----
K60	Digital	Campo	15	----
K60	Analógico	Campo	20	2 hilos

Tabla 2.23 Dirección de los esclavos AS-i utilizados en el proyecto

2.7 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL

El paquete de programación STEP 7--Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación.

STEP 7--Micro/WIN provee un Asistente para trabajar con AS-Interface y tres editores KOP, AWL y FUP que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control:

- KOP, o diagrama de contactos en escalera o ladder. Se aplica cuando el desarrollador está familiarizado con diagramas eléctricos.
- FUP, o diagrama de funciones lógicas, utilizan la estructura compatible con la programación gráfica.
- AWL, corresponde a la programación mediante la escritura de código o nemónico compatible con el lenguaje ensamblador propio del procesador. Cabe anotar que, algunas secuencias de operaciones que no se pueden realizar en KOP o FUP, es posible solamente en AWL.

Para desarrollar este proyecto se empleó el lenguaje de diagrama de contactos (KOP), por ser la técnica de programación más comprensible.

El diseño software se lo dividió en las siguientes partes:

2.7.1 Configuración del asistente AS-i

El asistente AS-i ayuda a crear la lógica del proyecto STEP 7-Micro/WIN necesaria para transferir datos entre el programa de usuario y los esclavos AS-i. Además, asigna símbolos mapeados a las direcciones AS-i de las entradas y salidas.

Esta sección del asistente se puede utilizar online u offline (es decir, sin estar conectada una CPU S7-200, un CP243-2 o una red de esclavos). Si el asistente se utiliza online, puede proporcionar información del módulo CP243-2 y efectuar comparaciones con la red AS-i (Figura 2.19).

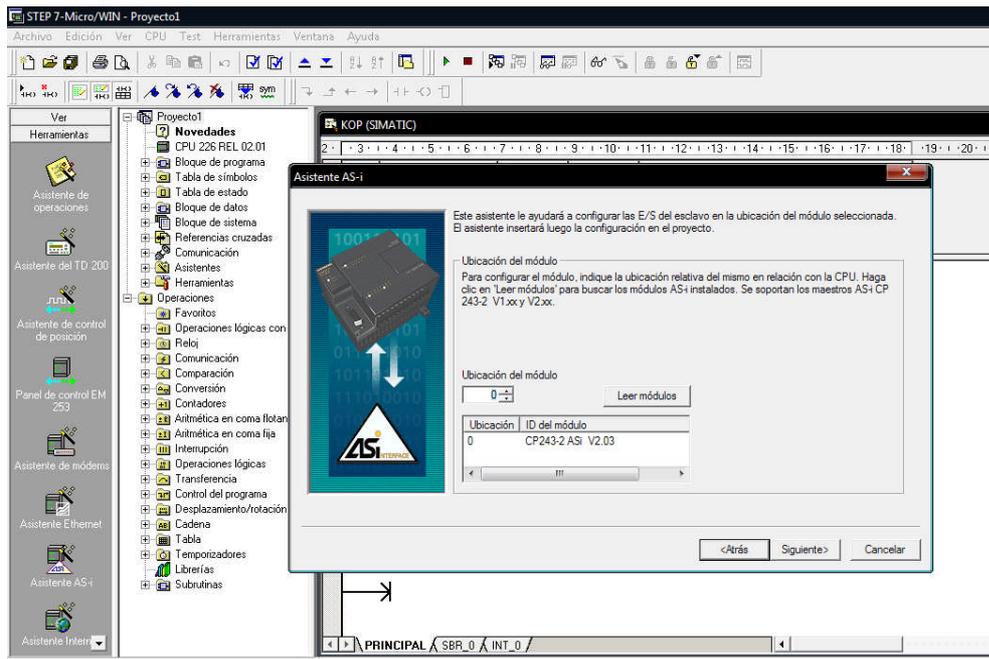


Figura 2.19 Asistente AS-i

2.7.2 Programación del riego

En el regadío se considera la activación de la bomba (KB) con dirección V22.4, que suministra agua desde el tanque de reserva; otro punto a considerar es el accionamiento de 2 electroválvulas, una para el riego por goteo, y otra para el riego foliar. La activación de las electroválvulas se las realiza por medio del esclavo AS-Interface S45. (Ver Anexo D, Programación)

2.7.3 Programación del riego foliar

La programación del riego foliar se la realizó en 2 modos: manual y automático.

En modo manual, un motorreductor desplaza los aspersores horizontalmente cubriendo todo el invernadero con el riego, se lo activa con el botón del panel de control asignada en el PLC con la dirección V6.4 (Encender_Foliar); mientras esté encendido el riego foliar estará en un ciclo repetitivo hasta que se de la orden de apagado, esto se lo hace mediante un botón ubicado en el panel de control que

se encuentra asignado con dirección V6.5 (Apagar_Foliar). (Ver Anexo D, Programación, Network 16-22)

En relación al funcionamiento automático, se tiene asignado un proceso en el cual primero se analizan las condiciones ambientales para proceder o no con el regadío; es decir tomando en cuenta las variaciones del sensor de humedad relativa. El valor del set-point se lo puede ingresar por medio de la PC a través de un HMI, este valor se encuentra asignado con la variable VD320.

2.7.4 Programación del riego por goteo

El regadío por goteo, al igual que el foliar, está programado en forma manual y automática. (Ver Anexo D, Programación, Network 27)

Cuando se requiere regar manualmente, en el cuadro eléctrico, solo con presionar el botón “encender riego por goteo” que se ha asignado con la dirección V6.6 (Encender_Goteo), se iniciará el riego y con el botón “apagar riego por goteo” [dirección V6.7 (Apagar_Goteo)], se detendrá el riego.

Cuando está en Automático, el funcionamiento es de acuerdo a los requerimientos de agua que necesita el suelo, que se está verificando por medio de 2 sensores de humedad watermark, el riego se activa si el PLC detecta que la humedad no esta dentro del el rango ingresado por el usuario, los valores que se pueden introducir son: humedad minima del suelo y humedad máxima del suelo, las que están representadas como las direcciones VD324 y VD328 respectivamente, el ingreso de los valores de húmeda se lo realiza mediante el HMI.

2.7.5 Programación de la ventilación

En modo manual, por acción de los motorreductores, se puede abrir cualquiera de las ventanas laterales, mediante el cuadro eléctrico; con solo presionar los

botones abrir o cerrar, ventana 1 o ventana 2; según crea conveniente el usuario (Ver Anexo D, Programación, Network 12 - 15).

En automático, la ventilación cuenta con un sensor de dirección de viento que se encarga de dar la información al PLC, para tomar la decisión de que ventana abrir; y así aprovechar las corrientes de aire, y tener una ventilación más eficaz.

2.7.6 Programación de las seguridades

La seguridad ha sido tomada muy en cuenta, ya que se necesita bloquear cualquier proceso cuando se detecte alguna anomalía en cualquiera de los dispositivos, esto se lo hace en los diferentes bloques de programación que se considere necesario. Mediante una salida digital también pueden ser vistos en el HMI. (Ver Anexo D, Programación, Network 2)

2.8 DISEÑO DE LOS TABLEROS DE CONTROL

La manera de realizar el emplazamiento de los dispositivos que no disponen de un IP alto, es elaborando un bosquejo del espacio disponible y de la ubicación que cada uno de los dispositivos deberá tener siguiendo las recomendaciones del fabricante, así como también respetando normas industriales en el montaje y diseño de tableros de control. Como resultado de lo antes mencionado y tomando en cuenta las características de emplazamiento y dimensiones de los dispositivos periféricos al PLC, se realiza un diagrama como el que se indica en el Anexo D, Planos Eléctricos. Una vez concluida la configuración del sistema, se ejecutan dos trabajos; la instalación y programación.

Como parte del proceso de instalación se estableció, que si bien un PLC y sus periféricos son diseñados para soportar rigurosos ambientes de trabajo, se debe realizar un análisis de las condiciones en el que operará, cuidando que no se sobrepasen las especificaciones dadas por el fabricante.

Tomando en cuenta las consideraciones de fábrica, el PLC se montará en la sección de control del armario el cual cumplirá con las dimensiones adecuadas para contener con holgura los componentes del equipo y el resto de los elementos necesarios, como son: Interruptores, seccionadores, fuentes de alimentación, circuitos de protección, conductos de cableado, etc. Otra característica importante que deberá cumplir el tablero, es la de minimizar los efectos de la radiación electromagnética generada por equipos de conmutación instalados cerca al lugar de su emplazamiento, cualidad que se logra considerando que su material constructivo sea de metal. Cada dispositivo posee en su manual de hardware las directivas a tomarse para el montaje basadas en normas industriales, que se deben tener en cuenta en el proceso e instalación.

Otro factor a considerar es la temperatura al interior del tablero; se ubicarán los elementos que más calor generen en la parte superior del tablero, para no afectar a los demás elementos ya que el aire caliente tiende a subir y en donde la convección natural del aire sea suficiente para disipar el calor; ya que la mayoría de los fabricantes preparan, por ejemplo PLC's para que trabajen a una temperatura máxima de 60° C.

2.8.1 Disposición de los elementos

El emplazamiento de los periféricos del PLC seguirá las recomendaciones del fabricante y los siguientes patrones de aplicación general:

Se recomienda posicionar verticalmente a los componentes para facilitar la convección y disipación de calor.

Las fuentes de alimentación ocuparán en lo posible la zona superior del armario sobre el resto de componentes, ya que son generadores de calor.

La CPU ocupará una posición adyacente o por debajo de las fuentes de alimentación, en la zona superior del armario, quedando a una altura que facilite su inspección.

Los módulos de E/S estarán posicionados de la forma mas conveniente para el acceso y cableado en el espacio libre de acuerdo a las facilidades de enlace prestadas por el PLC.

Los espacios entre periféricos se deben meditar en función de la disipación de calor requerida.

Se recomienda que para la alimentación de los componentes restantes, se dispongan las zonas más alejadas posibles de la sección de control, de manera especial si se trata de componentes electrodomésticos, para mermar las interferencias electromagnéticas (Ver Anexo D, Planos Eléctricos).

2.8.2 Botonera y dispositivo de señalización

La botonera y luces indicadoras estarán dispuestas en la tapa superior del cuadro eléctrico para una mayor accesibilidad y visibilidad. La entrada de los cables se realizará por la parte posterior, así mismo los cables interiores se agruparán y se fijarán por medio de bridas de plástico.

Los botones y luces de señalización de los diferentes procesos se describen a continuación:

Botones:

- De paro de emergencia.
- Selector de Manual/Automático.
- De encendido de modo automático.
- De paro de modo automático

- De apertura de puerta
- De cierre de puerta
- De apertura de ventana 1
- De cierre de ventana 1
- De apertura de ventana 2
- De ventana 2
- De encendido de riego foliar.
- De apagado de riego foliar
- De encendido de riego por goteo
- De apagado de riego por goteo

Luces indicadoras:

- De automático On
- De automático Off
- De apertura de puerta
- De cierre de puerta
- De apertura de ventana 1
- De cierre de ventana 1
- De apertura de ventana 2
- De ventana 2
- De encendido/apagado de riego foliar.
- De encendido/apagado de riego por goteo

Ver Anexo D, Planos Eléctricos

2.8.3 Cableado

Siempre que sea posible, en la configuración del sistema se intentará agrupar los módulos por categorías en cuanto a entradas/salidas, tensión alterna o continua señales digitales o analógicas.

Dicha configuración permitirá un cableado racional y un nivel de aislamiento de los cables de señal débil respecto a los que alimentan cargas, y de los de comunicaciones. Siempre que sea posible se separan los cables de corriente directa con respecto de los de corriente alterna, de esta manera se minimizan las interferencias producidas por la conmutación de cargas.

No olvidar que todos los componentes que interviene en la construcción del cuadro eléctrico deben ser protegidos durante la manipulación, fijación y fase de cableado. De no hacerlo, la avería o rotura son seguras.

Además de todo lo anteriormente mencionado, hay que tener en cuenta que todos los dispositivos y conductores deberán estar identificados correctamente, para facilitar correcciones necesarias y supervisión en caso de ser requerida.

2.8.4 Puesta a tierra

Se seguirá lo especificado en la normativa vigente EN 50178 y las recomendaciones de los fabricantes, pero hay que recordar que cada uno de los bastidores del PLC, deben estar unidos mediante un cable independiente de sección adecuada, a la platina de tomas de tierra del armario, jamás deben compartirse circuitos de tierra entre bastidores con otros componentes del sistema.

2.8.5 Circuitos de seguridad

Los dispositivos de parada de emergencia se instalarán independientemente del PLC, de acuerdo a la directiva para el diseño de la comunidad Europea 98/37/CE, para permitir la parada del sistema, aun en caso de avería del mismo; en general, deben actuar sobre un contactor de maniobra que corta la alimentación a las cargas de instalación.

En general por lo menos para los dispositivos de salida, es deseable que exista un contactor de maniobra que permita cortar la alimentación de esos elementos y que hará posible trabajar con seguridad en la puesta a punto o investigación de averías, con el PLC alimentado.

2.8.6 Alimentación

Se emplearán interruptores termomagnéticos y fuentes de alimentación independientes, en el caso del suministro de energía a la sección de control y de potencia del sistema.

2.9 DISEÑO DE LAS INTERFACES HMI

En el proyecto se necesita cubrir y contar con información visible en tiempo real por lo que es necesario el crear HMI's, que brinden las siguientes funciones:

- Visualización del estado del Invernadero, a través del estado de los sensores.
- Indicación y gestión de alarmas (tiempo en el que se produjo y confirmación de aceptación). Esta función permitirá detectar y corregir rápidamente tales eventos.
- Generar informes de estado.

Por tal motivo se ha elegido para realizar el HMI en SIMATIC WinCC flexible, innovador software HMI ejecutable en Windows, y que ofrece junto con el software WinCC flexible Runtime, la funcionalidad básica HMI para PC, que incluye un sistema de alarmas y listado en informes, y que es ampliable con opciones concretas, si se desea.

El software contiene una serie de editores y herramientas para diversas tareas de configuración. Por ejemplo, es posible configurar con técnica de 32 niveles de

pantalla. Para la configuración de imágenes pueden usarse una serie de cómodas funciones, como por ejemplo, ampliar/reducir, rotar y alinear. WinCC flexible permite adaptar el entorno de trabajo a las necesidades del usuario. En el proceso de ingeniería, aparece en la pantalla del PC de configuración un entorno de trabajo orientado a la tarea concreta de configuración que se desea llevar a cabo.

2.9.1 Pantalla principal

La página principal contiene el acceso para los usuarios; éstos pueden autenticarse como administradores (nivel más alto, acceso total) o supervisores, un nivel más bajo de accesibilidad.

También contiene un botón con el cual se puede acceder a la página de autores y por último un botón de finalización de runtime (Figura 2.20).



Figura 2.20 Pantalla principal

2.9.2 Pantalla de supervisión

En esta pantalla se puede monitorear el estado de todos los procesos del invernadero, como son estados de: automático/manual, puerta, ventana 1 y 2, niveles de humedad, relativa y de suelo, dirección de viento, estado de bomba, estado de electroválvulas, también se puede ingresar los niveles de humedad relativa y de suelo, de acuerdo a las necesidades del cultivo, (Figura 2.21).

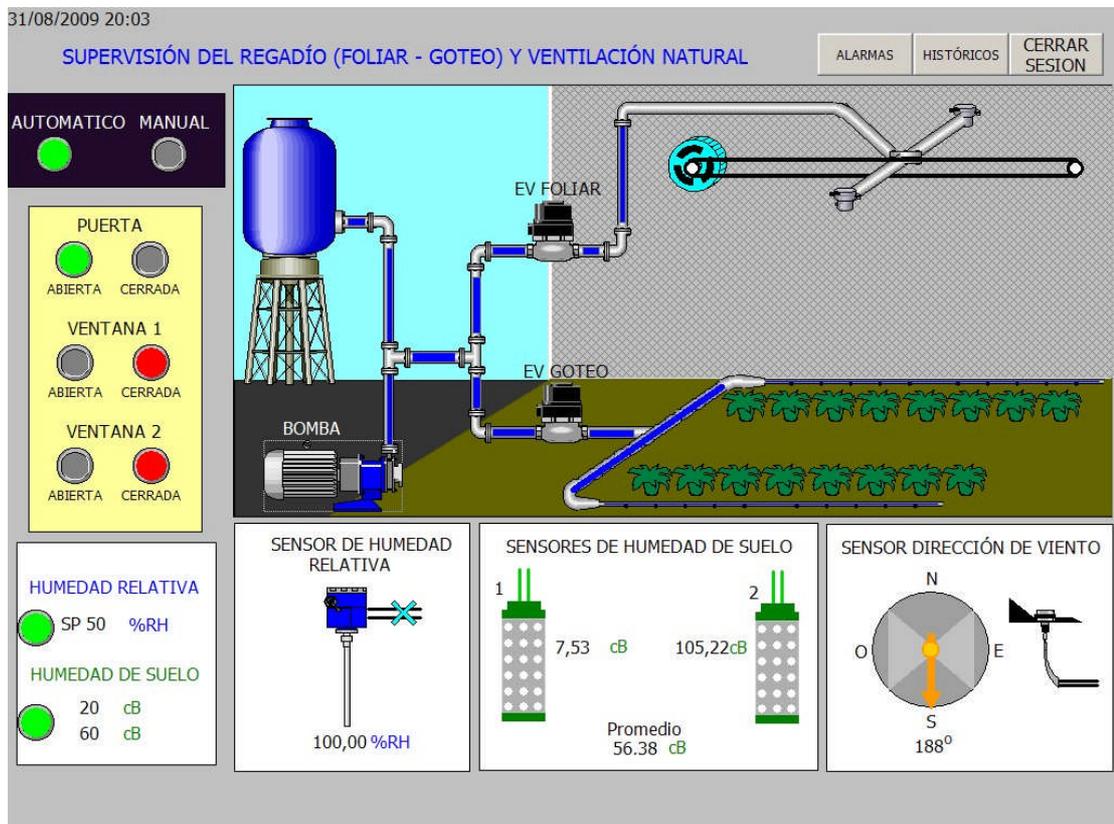


Figura 2.21 Pantalla de supervisión

2.9.3 Pantalla de históricos

Aquí se pueden observar el comportamiento de la humedad en anteriores estados accediendo a la barra de herramientas y retroceder el gráfico (Figura 2.22, 2.23, 2.24 y 2.25).



Figura 2.22 Históricos de humedad de suelo

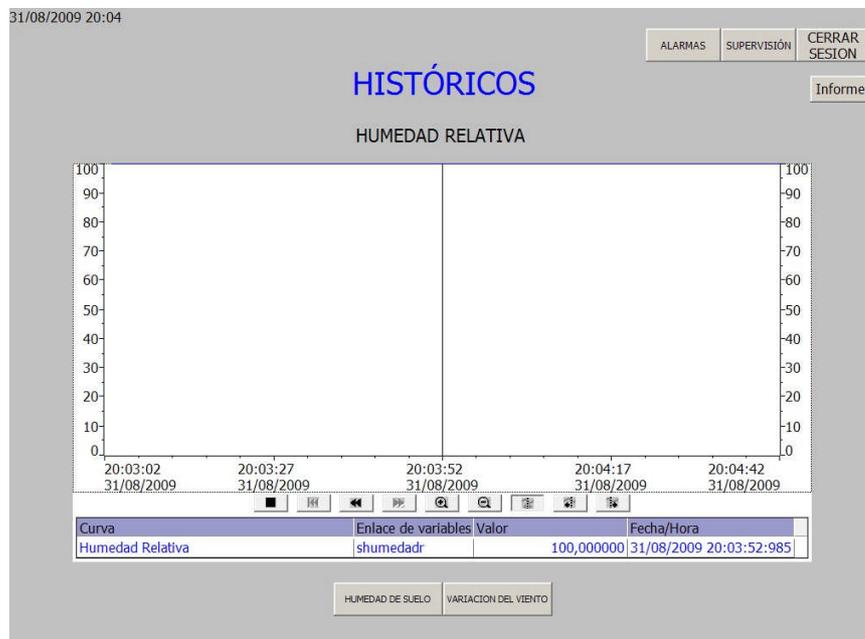


Figura 2.23 Históricos de humedad relativa



Figura 2.24 Históricos de Dirección de viento

2.9.4 Alarmas

En esta pantalla se puede observar con detalle los eventos de alarmas de todos los sensores que están en el proceso; por ejemplo, se dispara una alarma cuando se desconecta cualquier sensor; la cual se tiene que aceptar, de lo contrario no cambiará de color y podría dar lugar a malas interpretaciones (Figura 2.25).

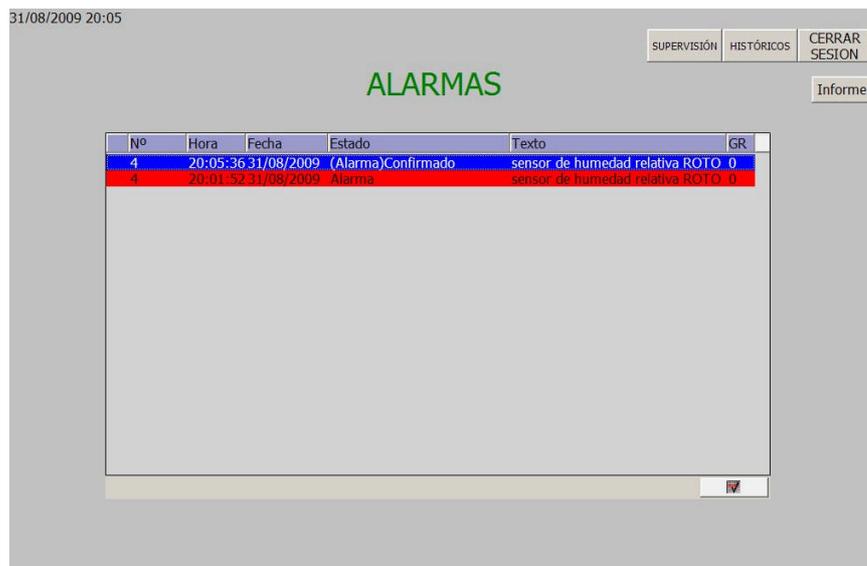


Figura 2.25 Alarmas del sistema

2.9.5 Pantalla de autores

En esta pantalla se muestra datos de los autores del proyecto, el cual como se describió anteriormente, se puede acceder desde la pantalla principal (Figura 2.26).



Figura 2.26 Pantalla de autores

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA

El prototipo de invernadero se encuentra ubicado en las instalaciones de la Escuela Politécnica del Ejército, el cual tiene la posibilidad de operar en forma automática y manual, en forma automática tiene la capacidad de controlar el riego por goteo y foliar a través de una serie de actuadores (electroválvulas, motores, bomba), de acuerdo a las mediciones de humedad de suelo y relativa, respectivamente. Así mismo posee la capacidad de controlar las ventanas laterales, en función de la dirección del viento, con la finalidad de ventilar las plantas.

En forma manual se lo puede operar desde la botonera ubicada en el cuadro de control.

Para el ingreso al invernadero, se dispone de una puerta automática que funciona independientemente del modo que esté operando.

El sistema presenta el estado de las ventanas, de los sistemas de regadío y puerta; alarmas de falla de motores; a través de un conjunto de lámparas indicadoras o luces piloto ubicadas junto a la botonera. Dicha información también es monitoreada por una PC a través de un HMI. En este HMI se visualizan la magnitud de las variables, históricos y alarmas de sensor defectuoso;

a la vez se puede ingresar el valor del set-point de humedad relativa y el rango de humedad de suelo.

Para la comunicación de los sensores y actuadores, el sistema usa el bus de campo AS-i, que permite la reducción notable de cableado, entre otras ventajas.

3.2 DETALLES DE LA CONSTRUCCIÓN

Los componentes se alojan en un tablero industrial, que se encuentra dividido en dos secciones, uno para los dispositivos de control y el otro para los de potencia.

Este tablero también sirve de panel frontal de visualización del estado de ventanas, de los sistemas de regadío y puerta; de alarmas de falla de motores y de algunas acciones elementales de operación, ocupando un espacio físico, cuyas dimensiones se muestra a continuación:

Dimensiones generales: 120 x 160 x 25 cm

Dimensiones cubículo a: 60 x 80 x 25 cm

Dimensiones cubículo b: 60 x 80 x 25 cm

Los parámetros físicos y eléctricos del proyecto son:

Tensión de alimentación: 110 Vac

Frecuencia: 60 Hz

Altitud: 2550 m.s.n.m.

En la Figura 3.1 se muestra el tablero eléctrico.



Figura 3.1 Vista general del tablero eléctrico

El cubículo de control se encuentra en la parte de abajo, y el de potencia en la parte superior, debido a que éstos generan gran cantidad calor; de esta manera el calor de generado se disipará por los orificios al exterior, y no afectará a los elementos de control.

En la Figura 3.2 se muestra el tablero con sus cubículos de control (a) y potencia (b).

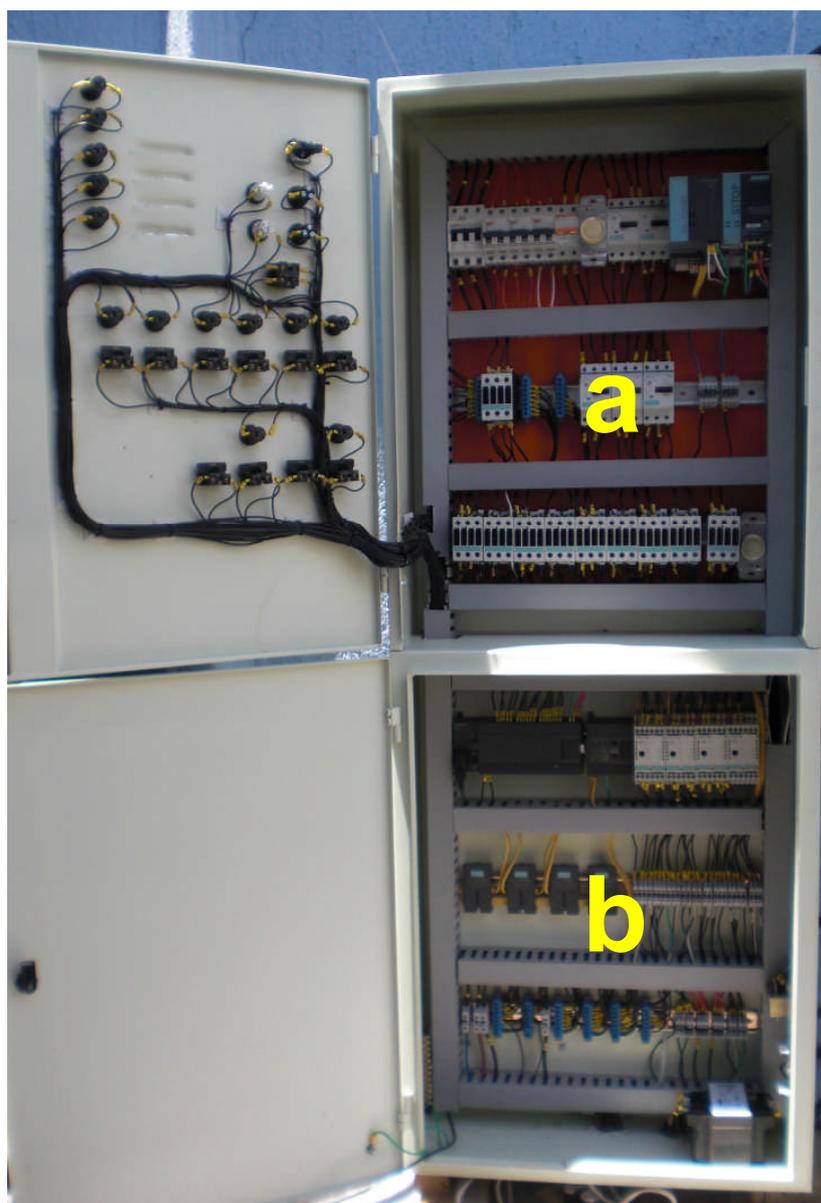


Figura 3.2 Cubículos del tablero eléctrico, a) control, b) potencia

De acuerdo a consideraciones técnicas, en el cubículo de control, residen dispositivos como: PLC, Maestro AS-i, Esclavos AS-i S45, Derivadores AS-i, y borneras de conexión, todos ellos montados sobre riel DIN de 35 mm y numeradas con marquillas (Figura 3.3).



Figura 3.3 Vista interior de los dispositivos de control

En el cubículo de potencia se alojan: guardamotores, breakers, contactores, relés, borneras; además se encuentra la fuente SITOP de 24 Vdc y la fuente AS-i, debido a que éstas generan gran cantidad de calor. Todos los dispositivos están montados sobre riel DIN de 35 mm y marquillados (Figura 3.4).



Figura 3.4 Vista interior de los dispositivos de potencia

En la parte superior del cuadro eléctrico se ubican los dispositivos de mando como: pulsadores, selector, paro de emergencia; y de señalización (luces piloto), que permiten la visualización del estado del sistema (Figura 3.5).



Figura 3.5 Dispositivos de mando y señalización

A 20 m del tablero se encuentra el invernadero, en el cual se encuentran los motores junto con el sistema mecánico (Figura 3.6).



Figura 3.6 Invernadero y parte estructural

Junto al invernadero se encuentra los esclavos análogos y digitales para campo AS-i K60 con IP 67, en donde se enlazan los sensores (Figura 3.7).

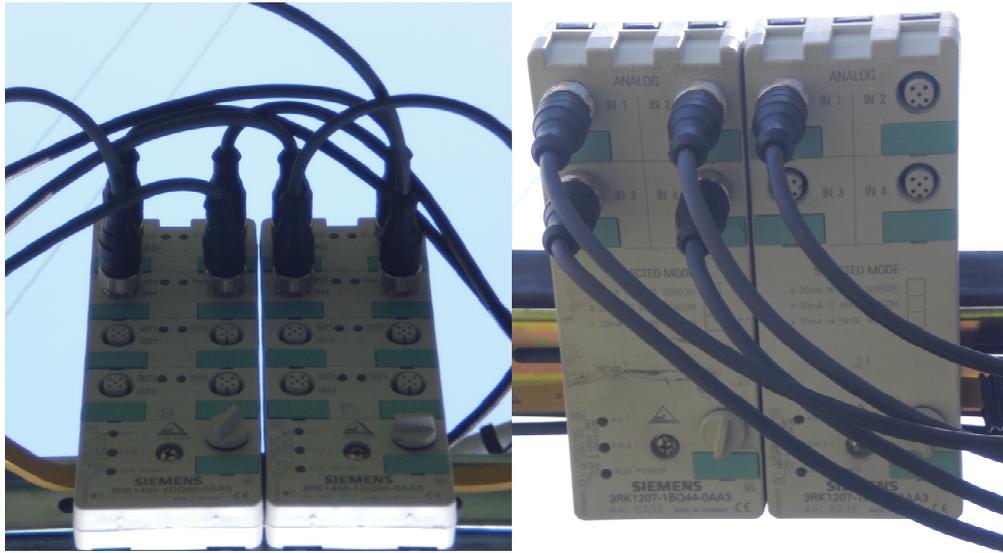
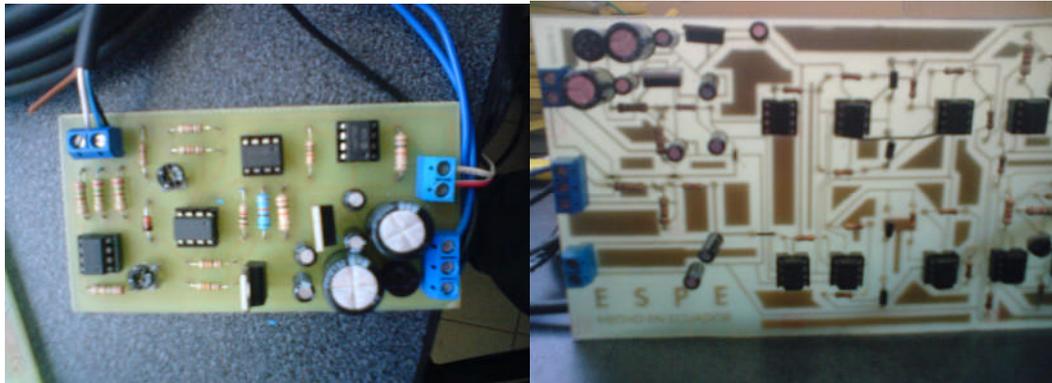


Figura 3.7 Esclavos análogos y digitales para campo AS-i K60

En la Figura 3.8 a y 3.8 b se muestran las placas de acondicionamiento de los sensores de humedad de suelo y de viento, que se encuentran junto a los esclavos.



a) Dirección de viento

b) Humedad de suelo

Figura 3.8 Acondicionamientos de sensores

El sensor de dirección de viento está ubicado en la parte superior del invernadero (Figura 3.9).



Figura 3.9 Sensor de dirección de viento

Los sensores de humedad de suelos, se encuentra situados a 50 cm, de profundidad, uno en cada cama (Figura 3.10).



Figura 3.10 Sensores de humedad de suelo

El sensor de humedad relativa esta ubicado en el interior del invernadero (Figura 3.11).



Figura 3.11 Sensor de humedad relativa

Para conocer el estado de las ventanas, puerta y riego foliar, se ubicaron finales de carrera, los cuales se muestra en la Figura 3.12.



Figura 3.12 Final de carrera

En la Figura 3.13 se muestra las electroválvulas utilizadas para el control del regadío foliar y por goteo.



Figura 3.13 Electroválvula

En la figura 3.14 se indica la bomba eléctrica utilizada para elevar la presión del agua.



Figura 3.14 Bomba eléctrica

3.2.1 Hardware

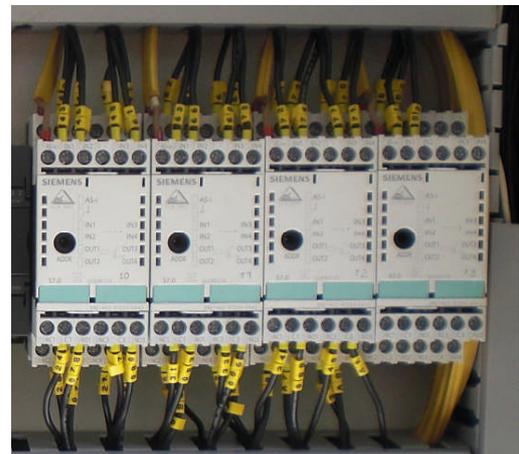
3.2.1.1 Cableado de control

La conexión eléctrica de tablero, en su parte de control se realizó con cable 18 AWG/ 600VAC, que se dimensionó de acuerdo al análisis de la corriente de consumo de los distintos dispositivos que conforman esta sección.

Los dispositivos que han sido cableados según este análisis son: PLC, entradas y salidas de Esclavos AS-i S45, borneras 24 VDC, botoneras y luces piloto (Figura 3.15).



a) Cableado del PLC



b) Cableado esclavos AS-i S45



c) Cableado de botoneras y luces piloto

Figura 3.15 Vista interior de cableado del tablero

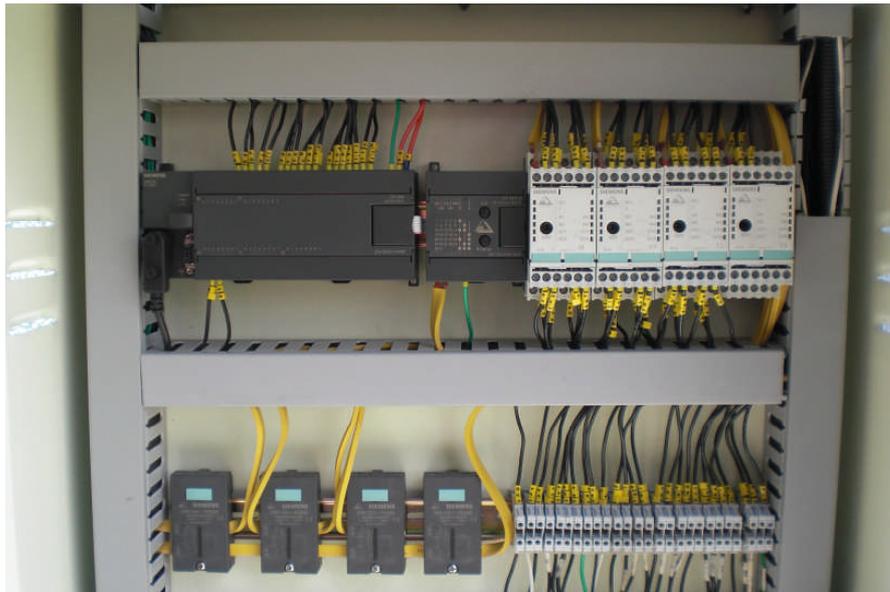
En la Figura 3.16 se muestra la fuente SITOP de 24 VDC, que está alimentada por 110 VAC.



Figura 3.16 Cableado de la fuente SITOP

3.2.1.2 Cableado de la red AS-i

La red AS-i en su parte física está montada con el cable perfilado AS-i; los elementos que componen esta red son: maestro AS-i, esclavos AS-i análogos y digitales, derivadores y fuente AS-i (Figura 3.17).



a) Cableado red AS-i en el tablero



b) Cableado fuente AS-i



c) Cableado Esclavos K60

Figura 3.17 Cableado red AS-i

3.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES Y MEDICIONES

3.3.1 Pruebas experimentales de comunicación

Con la red AS-i ya implementada, se empezó a realizar las pruebas experimentales de comunicación.

Primero se comprobó la comunicación entre el PLC y la PC, con la ayuda del cable USB/PPI S7-200 y del software STEP 7-Micro/WIN. En la Tabla 3.1 se muestran los parámetros seleccionados para la transmisión.

Dirección remota	2
Interfaz	PC/PPI cable USB
Protocolo	PPI
Velocidad de transferencia	9.6 Kbit/seg

Tabla 3.1 Parámetros seleccionados para la transmisión

En la Figura 3.18 se indica la comunicación del STEP 7-Micro/WIN con el PLC, en estado óptimo.

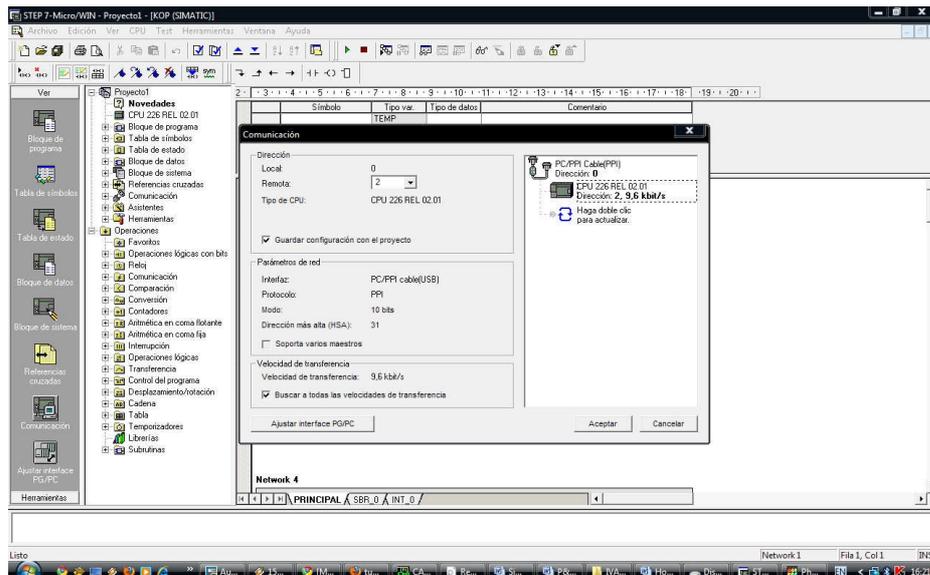


Figura 3.18 Comunicación del STEP 7-Micro/WIN con PLC en estado óptimo

Enseguida se verificó la comunicación entre el PLC y el servidor OPC S7-200 PC Access (Tabla 3.2).

Comunicación	Estado
PLC y el servidor OPC S7-200 PC Access	OK

Tabla 3.2 Comunicación entre el PLC y el servidor OPC

En la Figura 3.19 se muestra el estado óptimo de la comunicación entre el PLC y el servidor OPC.

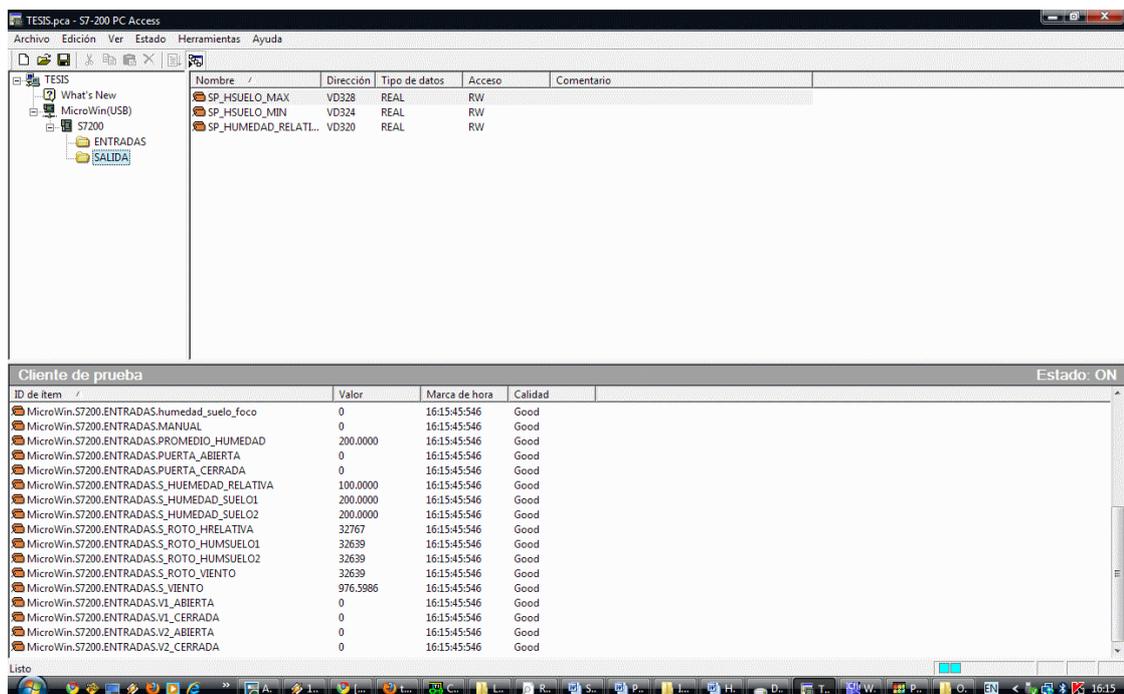
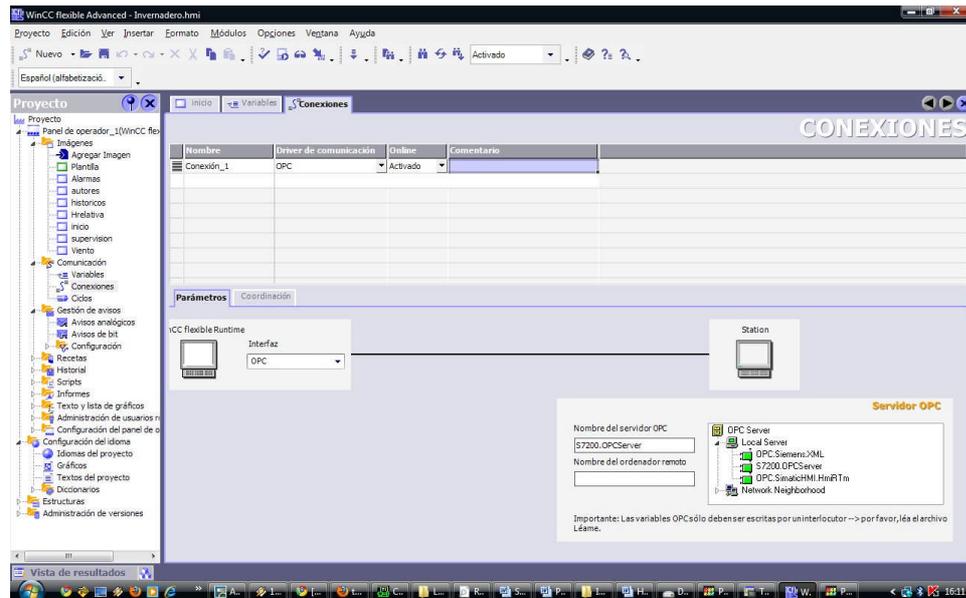


Figura 3.19 Comunicación del PLC y el servidor OPC S7-200 PC Access en estado óptimo

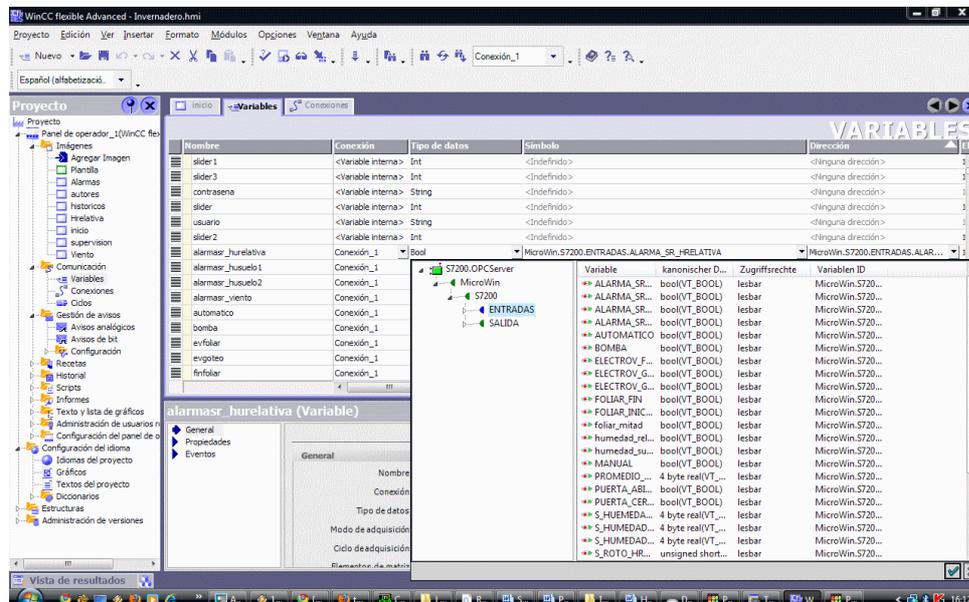
Posteriormente se realizó pruebas de comunicación el software SIMATIC WinCC flexible y el servidor OPC S7-200 PC Access (Tabla 3.3, Figura 3.20 a y b).

Comunicación	Estado
SIMATIC WinCC Flexible el servidor OPC S7-200 PC Access	OK

Tabla 3.3 Comunicación entre WinCC flexible y el servidor OPC



a) Comunicación entre WinCC flexible y OPC



b) Variables de OPC leídas por WinCC flexible

Figura 3.20 Comunicación del servidor OPC S7-200 PC Access y WinCC flexible en estado óptimo

Finalmente se comprobó la comunicación de la red AS-i, realizando pruebas que permitan determinar el estado de la comunicación (Tabla 3.4).

Esclavo	Dirección	Tipo	Ubicación	Estado de la comunicación
S45	10	Digital	Tablero	OK
S45	11	Digital	Tablero	OK
S45	12	Digital	Tablero	OK
S45	13	Digital	Tablero	OK
K60	14	Digital	Campo	OK
K60	15	Digital	Campo	OK
K60	20	Analógico	Campo	OK

Tabla 3.4 Estado de la comunicación de los esclavos de la red AS-i

3.3.2 Pruebas experimentales de protecciones eléctricas

Uno de los parámetros primordiales que debe cumplir el proyecto, es la operación de las protecciones.

Las protecciones con las que cuenta el proyecto son:

- Sobrecorriente.
- Sobrecarga.
- Sobrecorriente y sobrecarga de los motores eléctricos.
- Sobrecorriente y sobrecarga en las fuentes de alimentación.
- Sobrecorriente salidas del PLC.
- Paradas de emergencia.

Para comprobar el correcto funcionamiento de las protecciones se realizó cortocircuitos sobre cada protección, teniendo los siguientes resultados (Tabla 3.5):

Protecciones	Estado
Interruptor termomagnético de la etapa de control (Q6)	OK
Interruptor termomagnético del PLC (Q7)	OK
Interruptor termomagnético de la fuente de 24V (Q8)	OK
Interruptor termomagnético de la fuente AS-I (Q9)	OK
Interruptor termomagnético general (Q0)	OK
Guardamotor del motor de la puerta (Q1)	OK
Guardamotor del motor de la ventana1 (Q2)	OK
Guardamotor del motor de la ventana2 (Q3)	OK
Guardamotor del motor del riego foliar (Q4)	OK
Guardamotor de la bomba (Q5)	OK

Tabla 3.5 Pruebas experimentales de Protecciones

3.3.3 Mediciones de variables del invernadero

En la Tabla 3.6 se muestran las mediciones de las variables del invernadero tomado en diferentes días.

VARIABLE	SP	Rango	FECHA (PROMEDIO)			
			26 Sep.	27 Sep.	28 Sep.	29 Sep.
Humedad de suelo cama 1	---	---	31 cb	34 cb	29 cb	25 cb
Humedad de suelo cama 2	---	---	28 cb	31 cb	28 cb	24 cb
Humedad de suelo promedio	---	30-40 cb	29,5 cb	32,5 cb	28,5 cb	24,5 cb
Humedad relativa	40 %HR	---	39 %HR	38 %HR	39%HR	38 %HR
Dirección de viento	---	---	S 20° N	S30° N	O 78° E	S 14° N

Tabla 3.6 Mediciones de las variables del invernadero

3.4 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.4.1 Comunicación

Luego de realizar las pruebas de comunicación, es necesario realizar un análisis para determinar el nivel de confiabilidad de la red.

La comunicación entre el PLC y la PC, con la ayuda del cable USB/PPI S7-200 y del software STEP 7-Micro/WIN se encuentra funcionando satisfactoriamente de acuerdo a los parámetros requeridos, tal como se mostró en la Figura 3.16. La correcta comunicación permite tener un alto grado de confiabilidad con los productos utilizados en el proyecto.

En la Figura 3.17 se mostró el estado óptimo de la comunicación entre el PLC y el servidor OPC, así mismo el software SIMATIC WinCC flexible y el servidor OPC S7-200 PC Access se enlazaron de manera satisfactoria, tal como se mostró en la Tabla 3.3, y Figura 3.18 a y b. Al realizar esta prueba y observar el correcto funcionamiento, se demostró que OPC es eficaz para la comunicación en tiempo real entre diferentes aplicaciones y diferentes dispositivos de control.

Finalmente, en la Tabla 3.4 se mostró que la comunicación de la red AS-i, se efectuó de manera correcta; comprobando de esta manera el determinismo del bus de campo a nivel sensor/actuador.

3.4.2 Protecciones eléctricas

Al igual que la comunicación del sistema, las protecciones eléctricas deben ser sometidas a una evaluación de resultados.

Al realizar cortocircuitos sobre cada protección, se demostró el correcto funcionamiento de las protecciones, tal como se indicó en la Tabla 3.5. Esta prueba nos ayudó a determinar el estado de las protecciones del sistema.

El tiempo de respuesta de cada protección frente a un cortocircuito es satisfactorio, con lo cual aumenta la confiabilidad del sistema.

3.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Ya implementado el proyecto, una de las metas es la evaluación objetiva de los alcances y limitaciones que posee éste. Una vez puesta en marcha se han notado las siguientes limitaciones:

- La parametrización de los esclavos analógicos K60 sólo se puede realizar por medio de un direccionador y no a través del software STEP 7-Micro/WIN.
- En caso de rotura del cable de comunicación AS-i, no se puede reemplazar por un cable común, ya que el cable AS-i posee características especiales mencionadas anteriormente.
- La red AS-i se lo puede extender hasta 100 metros.
- Se pueden conectar en la Red AS-i hasta 31 esclavos estándar y hasta 62 esclavos con espacio de direcciones extendido.
- No es posible realizar la comunicación directa entre el PLC y WinCC flexible, debido a que este último no soporta el cable PPI utilizado en el proyecto.
- No se pueden observar los valores de las variables en la parte frontal tablero, sólo se lo pueden ver en el HMI.
- De igual manera el valor del set-point y el rango sólo se lo pueden ingresar por el HMI.

- No existe control sobre la ventana cenital, para tener un mejor control de la ventilación.

Los alcances del proyecto son:

- El sistema opera en dos modos: manual y automático, cada uno en forma independiente.
- El sistema implementado es capaz de controlar automáticamente el cierre y apertura de dos ventanas laterales, de acuerdo a la dirección del viento; así mismo, tiene la capacidad de controlar los sistemas de riego (foliar, goteo).
- Reducción notable del cableado para sensores y actuadores, además de tener facilidades de configuración, detectar errores y averías, de los sensores y actuadores a través de los esclavos AS-i, todo esto desde el HMI.
- El direccionamiento de los esclavos se puede realizar a través de Software o por medio del direccionador AS-i.
- Facilidad de diagnóstico de fallas de los esclavos conectados en la red.
- Menor esfuerzo físico en el operador en la toma de las variables de humedad.
- Información del estado del sistema en tiempo real. El sistema presenta el estado de las ventanas, de los sistemas de regadío y puerta; alarmas de falla de los motores; a través de un conjunto de lámparas indicadoras o luces piloto ubicadas junto a la botonera. Dicha información es monitoreada por una PC a través de un HMI desarrollado en WinCC flexible. En este HMI además se visualizan la magnitud de las variables de

humedad de suelo y relativa, dirección de viento; históricos y alarmas de sensor defectuoso; a la vez se puede ingresar el valor del set -point de humedad relativa y el rango de humedad de suelo.

- Registro de las mediciones y fallas.
- Cantidad exacta de agua suministrada a las plantas, disminuyendo de esta manera el desperdicio de agua.
- Apertura y cierre de ventanas solo cuando sea necesario, manteniendo al cultivo ventilado.

3.6 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

3.6.1 Costo de los componentes y mano de obra del proyecto

Una vez que el sistema ha cumplido desde el punto de vista técnico con las pruebas tanto de operación como de funcionamiento es conveniente cuantificar la inversión realizada por la Escuela Politécnica del Ejército y de los autores del proyecto.

En la Tabla 3.7 se detalla el costo de los componentes del proyecto al mes de diciembre de 2008. El costo neto de los componentes es de 11575,00 dólares americanos.

Ítem	Cantidad	Descripción	P. Unit. (USD)	Subtotal (USD)
1	1	PLC SIEMENS S7 200 CPU 226 110/22VAC	821	821
2	1	FUENTE SITOP AS-i 5A	593,78	593,78
3	1	MODULO ADICIONAL AS-i CP 243-2	599,85	599,85
4	4	SLIMLINE S45	269,6	1078,4
5	2	MÓDULOS AS-i DIGITAL	297,47	594,94
6	1	MÓDULOS AS-i ANALÓGICOS	479,09	479,09
7	3	DISTRIBUIDORES K45	68,3	204,9
8	1	TAPONES AS-INTERFACE M12 (juego de 10)	124,88	124,88
9	7	DERIVACIONES M12 AS-INTERFACE	29,6	207,2
10	1	CABLE AS-i AMARILLO	335,26	335,26
11	3	PLACAS DE MONTAJE MODULOS AS-i	36,51	109,53
12	1	CABLE DE COMUNICACIÓN S7200 USB	223,94	223,94
13	1	FUENTE SITOP 5A 24V	282,04	282,04
14	10	CONTACTOR 17A AC3	35,28	352,8
15	5	GUARDAMOTOR 1/4HP 1F 0,85ª	46,99	234,95
16	3	RELÉS 3 CONMUTADOS 24VDC CON BASE	15,42	46,26
17	1	TRANSFORMADOR 500VA 240 / 480VAC	180	180
18	1	BREAKER PRINCIPAL RIEL DIN 63A	33,04	33,04
19	3	BREAKER RIEL DIN 3ª	20	60
20	1	BREAKER RIEL DIN 10ª	22	22
21	8	LIMITES DE CARRERA TIPO MICROSWITCH	12	96
22	1	TRANSDUCTOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DWYER Modelo: 657-1	650	650
23	1	SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO DEVIS 3911	260	260
24	2	SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO WATERMARK	100	200
25	2	PULSADOR MARCHA Y PARO SIEMENS	11,57	23,14
26	1	PULSADOR DE EMERGENCIA SIEMENS	25,38	25,38
27	2	LUCES DE SEÑALIZACIÓN MARCHA/PARO SIEMENS	11,1	22,2
28	10	PULSADOR DE ENCENDIDO Y APAGADO	2,5	25
29	1	SELECTOR	3,8	3,8
30	13	LUCES DE SEÑALIZACIÓN	2	26
31	2	GABINETE MODULAR 80X60X25	162	324
32	4	CAJAS CONDULET 1/2"	6	24
33	6	CAJAS CONDULET 1 1/2"	28	168
34	4	TUBO CONDUIT RIGIDO 1 1/2"	20,02	80,08
35	4	TUBO CONDUIT RIGIDO 1/2"	5,16	20,64
36	100	BORNERAS	1,42	142
37	8	CANALETAS	3,5	28
38	4	RIEL DIN	3,5	14
39	1	MATERIALES ACONDICIONAMIENTO SENSORES	50	50
40	60	CABLE CONCENTRICO 3X18AWG	1,1	66
41	15	CABLE CONCÉNTRICO 3X10AWG	4,06	60,9
42	3	Rollos de cable 18 AWG	15	45
43	30	CABLE 14 AWG	0,2	6

44	20	CABLE 12 AWG	0,35	7
45	20	CABLE 10 AWG	0,55	11
46	1	CAJA DE TERMINALES (DIFERENTES DIÁMETROS)	20	20
47	1	JUEGO DE MARQUILLAS	35	35
48	1	JUEGO DE AMARRAS	8	8
49	4	MOTORES 1/4 HP CON REDUCTOR	110	440
50	1	ELECTROBOMBA DE AGUA DE ½ HP	75	75
51	2	ELECTROVÁLVULAS ¾	70	140
52	1	INVERNADERO Y PARTE MECÁNICA	1345	1345
53	GLOBAL	MATERIALES DE OFICINA	200	200
54	GLOBAL	MOVILIZACIÓN	300	300
55	GLOBAL	USO DE INTERNET	50	50
			TOTAL	11575,00

Tabla 3.7 Costo de los componentes

Para conocer el costo total del proyecto, debe incluirse el rubro de la mano de obra de ingeniería y montaje, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Costo (USD)} = K * \text{No de horas persona} \quad (2)$$

Donde:

K = Valor hora profesional en USD, estimado en 15,00 USD.

Para calcular el costo de la mano de obra del montaje e instalaciones eléctricas, se utiliza el mismo criterio, pero asignando a K un valor de 2,50 USD.

En la Tabla 3.8, se detalla el costo de la mano de obra del proyecto desarrollado, considerando que para el rubro de ingeniería intervienen dos personas con una carga laboral de 30 días y 8 horas diarias.

Par calcular el valor del montaje e instalaciones eléctricas, se calcula con dos personas con una carga laboral de 40 días y 8 horas diarias.

Ítem	Descripción	K (USD)	No.horas-hombre	Subtotal (USD)
1	Ingeniería del proyecto	15,00	480,00	7200,00
2	Montaje e instalaciones eléctricas	2,50	640,00	1600,00
			TOTAL	8800,00

Tabla 3.8 Costo de mano de obra del proyecto

Por lo tanto, el costo total del proyecto es la suma de los rubros de los componentes y de la mano de obra, obteniendo la cantidad de: **20375,00 USD**.

3.6.2 Análisis del costo del proyecto

En un mundo globalizado en el que vivimos, las industrias están obligadas a ser más competitivas, mejorar la calidad y reducir el tiempo de producción. Esto lo consiguen automatizando sus procesos, teniendo en cuenta el costo-beneficio.

El sistema implementado no debe ser la excepción de este análisis, para ello se debe recordar que el sistema es parte de un proyecto macro, por lo tanto los dispositivos utilizados para la automatización forman parte de este proyecto macro.

Del análisis de la situación de los cultivos bajo invernadero en el centro del país se encontraron los siguientes problemas:

- El riego se lo realiza manualmente de acuerdo a la experiencia y criterio del personal encargado.
- La apertura y cierre de puertas y ventanas es de forma manual, de acuerdo a la experiencia del personal.
- No existen indicadores humedad de suelo y relativa.
- No existen sensores que respalden el criterio del técnico.

Al automatizar todos estos procesos se reduce personal, se evitan pérdidas de producción por errores humanos, se reduce el consumo de recurso hídrico, se disminuye el uso de fertilizantes, entre otros beneficios; teniendo de esta manera mayores utilidades.

Los dispositivos AS-i utilizados en la automatización son costosos; costo que será compensado en la disminución del cableado de sensores-actuadores, y en la reducción del tiempo de instalación.

No se puede establecer la cantidad exacta del beneficio económico que se obtendría ya que los dispositivos AS-i utilizados sirven para un invernadero de grandes proporciones, y el sistema se lo implementó en un prototipo donde el beneficio económico es nulo. Además el proyecto tiene fines de investigación como son: factibilidad de implementación del Bus AS-i en el sector agrícola y mejorar algoritmos de control; por tal razón sería aventurarse dar una cifra exacta.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Al finalizar el proyecto se logró cumplir con el objetivo trazado que fue automatizar y supervisar los procesos de regadío y sistema de ventilación natural de un prototipo de invernadero de la “Escuela Politécnica del Ejército”.
- Se consiguió automatizar los procesos agrícolas de regadío y ventilación a través de un autómata programable o PLC, dos electroválvulas, 4 motorreductores y una bomba eléctrica.
- Se logró tener una lectura exacta y verídica de variables de humedad de suelo, relativa y dirección de viento, que permitirán el correcto funcionamiento del sistema.
- El proyecto ha incorporado una nueva tecnología para adquisición de datos desde campo, permitiendo reducir tiempo en la implementación de la red para actuador / sensor.
- Se logró implementar una red AS-i a nivel de actuador /sensor, que permitió principalmente la reducción de cableado y la detección de errores, utilizando para la alimentación y comunicación un solo cable.

- El maestro AS-i utilizado en el proyecto puede trabajar tanto en modo estándar como en modo extendido, teniendo la posibilidad de conectar hasta 62 esclavos a la red.
- Para trabajar en modo extendido, es necesario que el maestro y los esclavos soporten este modo, en el caso de los esclavos utilizados en el proyecto no soportan este modo.
- Los módulos AS-i analógicos se los puede parametrizar para que funcionen con sensores de cuatro y dos hilos, ayudando de esta manera a tener mayores posibilidades de implementar más sensores.
- Se notó que no es conveniente implementar una Red AS-i cuando el número de sensores y actuadores es pequeño, debido al alto costo de los dispositivos AS-i y no justifica a la inversión realizada.
- La red AS-i implementada se le puede extender hasta 100 m, presentando inconvenientes si se desea implementarla en invernaderos de grandes longitudes.
- Los componentes AS-i utilizados para la red de control están disponibles en el mercado nacional bajo pedido, teniendo la desventaja del tiempo de entrega por importación.
- WinCC es una herramienta de Siemens para programar, especialmente pantallas táctiles, por lo que no es muy robusto para el desarrollo de HMI.
- WinnCC Flexible no soporta el cable PPI utilizado para la comunicación, por lo que es necesario utilizar un servidor OPC.

- Se implementó una interface HMI muy intuitiva y fácil de manipular por el usuario o los usuarios encargados del invernadero, permitiendo de esta manera la supervisión de los diferentes procesos del invernadero para la posterior toma de decisiones.
- Las pantallas del HMI deben ser amigables, contener la información necesaria y precisa, de manera que el operador se familiarice fácilmente con el entorno.
- El diseño del tablero eléctrico y la red AS-i es seguro y confiable, gracias al uso de estándares y normas internacionales.
- Se logró acondicionar los sensores de humedad de suelo y dirección de viento, a través de componentes electrónicos existentes en el mercado local.
- La implementación del proyecto permite al operario tener menor esfuerzo físico en la toma de datos de las variables de humedad y, en la apertura y cierre de ventanas.
- Con el riego por goteo se logró tener uniformidad del riego en el invernadero, además de la disminución del recurso hídrico.
- El proyecto tiene la posibilidad de enlazarse a un sistema SCADA, de esta manera se podrá supervisar y monitorear remotamente una serie de invernaderos.
- La ESPE pretende desarrollar sistemas que ayuden al desarrollo nacional, a través del uso de tecnología de punta, este es el caso del bus de campo AS-i, que es utilizado mayormente en Europa.

- Finalmente se concluye que el bus AS-i no es recomendable para la automatización de invernaderos, ya que éstos no tienen gran cantidad de sensores/actuadores y la longitud es generalmente grande, superando los 100 metros que AS-i puede extenderse sin repetidores.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la segunda fase del proyecto, que tiene que ver con el control climático del invernadero, para que permita el desarrollo del algoritmo del sistema Antiheladas, proyecto llevado a cabo por el Departamento de Eléctrica y Electrónica.
- Antes de la implementación de un proyecto se recomienda seguir el proceso de análisis y diseño, evitando de esta manera el sobredimensionamiento de los elementos.
- Para el montaje de los dispositivos utilizados en el proyecto, es necesario leer los manuales de especificaciones técnicas que vienen dadas por el fabricante.
- Antes de empezar la programación del PLC en el software STEP 7-Micro/WIN, verificar las direcciones de memoria que ocupan las variables de AS-i.
- Antes de la manipulación del sistema, se recomienda leer primero el manual de usuario con el fin de familiarizarse con el mismo.
- Dar mantenimiento periódicamente a los sensores de humedad de suelo, debido a que no son muy robustos, así como tuberías, conexiones eléctricas, aspersores y motores, para evitar su deterioro prematuro.

- El sensor de humedad relativa, acondicionamientos y motores deben estar protegidos contra el agua e insectos, evitando de esta forma cortocircuitos.
- Los dispositivos utilizados en el proyecto deben estar conectados a una puesta a tierra, ayudando a eliminar cargas estáticas de las carcasas, ruido eléctrico y descargas atmosféricas (rayos).
- Dar capacitación a los operadores del invernadero, de manera que puedan desempeñar sus funciones adecuadamente.
- Al realizar el control de malezas, se recomienda tener cuidado con los sensores de humedad de suelo y la manguera de riego por goteo; preferiblemente no usar herramientas cortopunzantes.
- El agua debe estar libre de impurezas, además se deberá revisar periódicamente el filtro, de tal forma que no se tapone la tubería de riego por goteo y los nebulizadores.

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- *J.C. López,* "Incorporación de tecnología al invernadero Mediterráneo", Cajamar, Barcelona-España, 2001.
- CEKIT S.A., "Electrónica Industrial y Automatización", Tomo 2, Pereira-Colombia, 2002.
- Ramón Piedrafita Moreno, "Ingeniería de la automatización industrial", Alfaomega Grupo Editor S.A., México D.F., 2001.
- Antonio Creus Sole, "Instrumentación Industrial", Séptima Edición, Alfaomega, México, 2005.
- Rodolfo Gordillo, "Comunicaciones industriales" pdf, DEE-ESPE, 2007.
- Miguel Pérez, Juan Álvarez, Juan Campo, Javier Ferrero, Gustavo Grillo; "Instrumentación electrónica", Thomson Editores Spain Paraninfo S.A., Madrid-España, 2004.
- SIEMENS, Comunicación con SIMATIC, Alemania, 2006.
- SIEMENS, SIMATIC NET AS-Interface - Introducción y Nociones fundamentales, 2006.SIEMENS, AS-Interface System Manual, 2007.
- SIEMENS, "Comunicación Industrial y Dispositivos de Campo", Alemania, 2000.

- SIEMENS, "Components for Totally Integrated Automation", Alemania, 1999.
- AS-Interface - Introduction and Basics SIEMENS 2007.
- http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_rosal.pdf
- <http://www.as-interface.net/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Rosa>
- http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico3.htm
- http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap06goteo.pdf
- [http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/ff63a5509ae7ed4c86256b5f006484f5/\\$FILE/invernadero.PDF](http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/ff63a5509ae7ed4c86256b5f006484f5/$FILE/invernadero.PDF)
- http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFlexible/Robotica_y_Aplicaciones.pdf
- <http://www.oaplo.com.ar/Articulos/Tecnologia-1005.pdf>
- <http://leonardo.uncu.edu.ar/catedras/InstrumentacionYControl/archivos/unidad7.pdf>
- <http://gpds.uv.es/plc/plc.pdf>
- http://www.unicrom.com/tut_PLC8.asp
- <http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresYTransductores>
- <http://isa.uniovi.es/docencia/AutomEdificios/transparencias/sensores.pdf>
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.pdf>
- <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=117&rank=1>
- <http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/as-interface.htm>

Latacunga, noviembre del 2009.

ELABORADO POR:

Iván Patricio Curicho Ronquillo

Jorge Rolando Masapanta Guilcamaigua

APROBADO POR:

Ing. Armando Álvarez S.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICADO POR:

Dr. Eduardo Vásquez
SECRETARIO ACADÉMICO



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA