

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Desarrollo de un sistema tipo SCADA para el crecimiento de cultivos en el interior de invernaderos”

Curso 2019/2020

Alumno/a:

Joaquín Robles González

Director/es:

Dr. D. Francisco Rodríguez Díaz

Dr. D. Jorge Sánchez Molina





UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

TRABAJO TÉCNICO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

**Desarrollo de un sistema tipo SCADA para el
crecimiento de cultivos en el interior de
invernaderos**

Autor:

Joaquín Robles González

Tutores:

Francisco Rodríguez Díaz
Jorge Antonio Sánchez Molina

Almería, Junio 2020

*A mi padre Joaquín, a mis hermanas María del mar y
Lucía, a mi abuela Josefina, a mi tío Roque...
pero, sobre todo, a mi madre Adela.*

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que de una manera u otra han prestado su ayuda con el fin de realizar este proyecto y en especial a mi compañero Paco García por prestarme su tiempo.

A Francisco Rodríguez Díaz y Jorge Antonio Sánchez Molina, tutores, por estar siempre dispuestos a ayudar con consejos y experiencias.

Y dar las gracias a la Estación Experimental Fundación Cajamar por esas magníficas instalaciones para la realización y puesta en marcha de este proyecto.

Índice

Agradecimientos	I
Nomenclatura.....	VII
Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tablas	XIII
Abstract	XV
Resumen.....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación del proyecto.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Contexto.....	3
1.4 Resumen de resultados.....	4
1.5 Planificación temporal.....	6
1.6 Competencias utilizadas en el TFG.....	6
1.7 Estructura de la memoria del TFG.....	8
2. DESCRIPCIÓN DE PLANTA.....	11
2.1 Descripción general de la planta.....	11
2.2 Descripción del sistema sensorial.....	12
2.2.1 Medida de Temperatura y Humedad.....	12
2.2.2 Medida de CO ₂	14
2.2.3 Medida de radiación.....	15
2.2.4 Medida de humedad del cultivo.....	18
2.2.5 Medida de caudal de agua.....	19
2.2.6 Medida de consumo de potencia eléctrica.....	20
2.2.7 Estación Meteorológica exterior.....	20
2.3 Descripción del sistema de actuación.....	22
2.3.1 Ventilación natural.....	23
2.3.2 Sistema calefacción Biomasa.....	25
2.3.3 Sistema de enriquecimiento de CO ₂	26
2.3.4 Sistema calefacción por aire.....	28
2.3.5 Sistema de Riego.....	29
2.3.6 Sistema de Humidificación.....	31
2.3.7 Sistema de Iluminación.....	33
2.3.8 Sistema de Deshumidificación.....	34

2.4	Descripción de equipos de adquisición y comunicación.....	35
2.4.1	Compact FieldPoint®	35
2.4.2	CompactRio®	38
2.4.3	Router Wifi	39
3.	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA SCADA.....	41
3.1	Especificaciones técnicas.....	41
3.2	Especificaciones generales de diseño del Sistema SCADA.....	42
3.3	Normativa a cumplir.....	42
3.3.1	Norma ISO 11064.....	42
3.3.2	Norma ISA S5.....	42
3.3.3	Norma UNE 500520:2003.....	43
3.3.4	Norma ISO 9241	43
3.3.5	Real Decreto RD 488/1997	44
3.3.6	Guía GEDIS.....	44
3.3.7	Norma ISA 101.....	44
4.	DISEÑO DEL SISTEMA SCADA	45
4.1	Diseño de la Interfaz.....	45
4.1.1	Arquitectura	46
4.1.2	Distribución de pantallas y navegación.....	47
4.1.3	Color y texto	53
4.1.4	Equipos, valores y tablas.....	55
4.1.5	Acceso y controles.....	57
4.1.6	Alarmas.....	59
4.2	Configuración de la comunicación de elementos.....	60
5.	RESULTADOS.....	65
5.1	Herramienta SCADA	65
5.1.1	Página principal.....	65
5.1.2	Subsistemas de control	68
5.1.3	Control de accesos	77
5.1.4	Gestión de nuevos subsistemas	78
5.1.5	Configuración	81
5.1.6	Análisis.....	83
5.2	Puesta en marcha y comprobación de funcionamiento.....	86
5.3	Evaluación de la herramienta SCADA por los supervisores de la planta.....	89

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	91
Referencias.....	93
Anexo I Módulos de E/S	97
Índice de tablas del Anexo I.....	97
Anexo II. Plantilla de programación.	101
Índice de figuras Anexo II	101

Nomenclatura

Acrónimos	Denominación original	Significado en castellano
cFP	Compact FieldPoint	Punto compacto de campo
cRIO	Compact RIO	Controlador industrial integrado compacto
CPU	Central Processing Unit	Unidad central de procesamiento
DIP	Dual In-line Package	Paquete de doble hilera
DSC	Datalogging and Supervisory Control	Registro de datos y control de supervisión
FDR	Frequency Domain Reflectometry	Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia.
FPGA	Field-Programmable Gate Array	Matriz de puertas lógicas programable en campo
RH	Relative Humidity	Humedad relativa
HMI	Human Machine Interface	Interfaz Hombre-Máquina
IR	Infrared Radiation	Radiación Infrarroja
ISA	Instrumentation, Systems and Automation Society	Sociedad de instrumentación, sistemas y automatización
ISO	International Organization for Standardization.	Organización Internacional para la estandarización
MAX	Measurement & Automation Explorer	Explorador de medidas y automatización
NI	National Instruments	National Instruments
RTD	Resistance Temperature Detector	Sensor de temperatura por resistencia
RTOS	Real-Time Operating System	Sistema Operativo de tiempo real
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
PAC	Programmable Automation Controller	Controlador de automatización programable
PAR	Photosynthetically Active Radiation	Radiación Fotosintéticamente Activa
PLC	Programmable Logic Controller	Controlador lógico programable
UNE	Asociación Española de Normalización	Asociación Española de Normalización
UTP	Unshielded Twisted Pair	Cable par trenzado
VI	Virtual Instrument	Instrumento Virtual
Wifi	Wireless Fidelity	Fidelidad inalámbrica

Lista de Figuras

Figura 1.1 Complejo “Las palmerillas” [3].....	1
Figura 1.2 Flujo de los recursos heterogéneos a través de los elementos del distrito agroindustrial [9].....	3
Figura 1.3 Pantalla principal del sinóptico	4
Figura 1.4 Menú Análisis.....	5
Figura 1.5 Mapa conceptual de las mejoras	5
Figura 2.1 Invernadero (Estación Experimental Cajamar). [12]	11
Figura 2.2 Invernadero tipo parral [13].....	11
Figura 2.3 Sensor temperatura Campbell HC2S3 [14].....	13
Figura 2.4 Sensor de CO ₂ Delta Ohm EE820-C2.....	14
Figura 2.5 Funcionamiento del sensor de CO ₂ por infrarrojos [28].	14
Figura 2.6 Espectro visible [29]	15
Figura 2.7 Sensor de radiación Delta OHM LP PYRA 03 AV (a) y Hukseflux LP02 (b)	16
Figura 2.8 Principio de funcionamiento de sensor de radiación [30].	16
Figura 2.9 Sensor de radiación Hukseflux LP02.....	17
Figura 2.10 Sensor de radiación PAR Apogee SQ-110.....	17
Figura 2.11 Sensor de humedad Decagon GS1 (a) y LWS (b)	18
Figura 2.12 Caudalímetro Burkert 8081 [22]	19
Figura 2.13 Efecto Doppler en caudalímetro Burkert [31]	19
Figura 2.14 Transductor de potencia SINEAX M563.	20
Figura 2.15 Anemómetro Vector Instruments.....	21
Figura 2.16 Veleta Wittich & visser PRV-XL [23]	22
Figura 2.17 Detector de lluvia Delta Ohm HD2013.2 [25].....	22
Figura 2.18 Ventanas laterales deslizantes con motor [13].....	24
Figura 2.19 Motor inductivo trifásico NERI Serie T.....	24
Figura 2.20 Ventanas cenitales abatibles [13].....	25
Figura 2.21 Caldera Biomasa Missouri 150 KW [40].....	26
Figura 2.22 Sistema de enriquecimiento de CO ₂ . [40].....	27
Figura 2.23 Depósito de almacenamiento de CO ₂ [40]	27
Figura 2.24 Válvula mezcladora de 3 vías [13].....	28
Figura 2.25 Generador aerotérmico Master BLP [33]	28
Figura 2.26 Esquema de funcionamiento de generador aerotérmico [33]	29
Figura 2.27 Sistema de riego por goteo [13].....	30
Figura 2.28 Bomba centrífuga Lowara SHE.....	31
Figura 2.29 Temperatura (a) y humedad (b) en Almería [43].	31
Figura 2.30 Sistema de humidificación	32
Figura 2.31 Bomba de humidificación.....	32
Figura 2.32 Sistema de iluminación artificial	33
Figura 2.33 Sistema deshumidificador	34
Figura 2.34 Elementos de un sistema de deshumidificación por condensación [45]	35
Figura 2.35 Controladores cFP-1804 (a) y cFP-2020 (b) [47].....	36
Figura 2.36 Bloque de conectores integrados cFP-CB-1(a) y especificaciones de los bloques integrados (b) [48] 36	
Figura 2.37 Módulos de entrada y salidas [48].....	37
Figura 2.38 Compact Fieldpoints 1 y 2 instalados en el invernadero	37
Figura 2.39 Compact Fieldpoints 3 de instalado en la caseta	38
Figura 2.40 CompactRio de NI [47]	38
Figura 2.41 Panel frontal cRio-9040 [47]	39
Figura 2.42 Router Wifi D-Link [49].....	39

<i>Figura 3.1 Licencia software NI LabVIEW [50]</i>	41
<i>Figura 4.1 Metodología de desarrollo de interfaz gráfica [57]</i>	45
<i>Figura 4.2 Arquitectura de pantallas</i>	46
<i>Figura 4.3 Método de Gutenberg [58]</i>	47
<i>Figura 4.4 Plantilla de Pantalla Principal</i>	48
<i>Figura 4.5 Plantilla del modo control de los Subsistemas.</i>	48
<i>Figura 4.6 Plantilla del modo Ensayo de los Subsistemas.</i>	49
<i>Figura 4.7 Plantilla modo Ensayo PRBS de los Subsistemas.</i>	49
<i>Figura 4.8 Menús principales</i>	50
<i>Figura 4.9 Inicio de sesión.</i>	51
<i>Figura 4.10 Navegación submenús de Subsistemas.</i>	51
<i>Figura 4.11 Submenús de subsistemas.</i>	51
<i>Figura 4.12 Sistema de Riego.</i>	55
<i>Figura 4.13 Sistema de Calefacción Biomasa</i>	56
<i>Figura 4.14 Sistema de almacenamiento de CO2</i>	56
<i>Figura 4.15 Sistemas de control del interior del Invernadero.</i>	56
<i>Figura 4.16 Acceso a la configuración.</i>	57
<i>Figura 4.17 Selector de modo de funcionamiento.</i>	58
<i>Figura 4.18 Conexión de elementos de adquisición de datos a Compact Fieldpoint [48]</i>	61
<i>Figura 4.19 Controlador de Compact FieldPoint (7 = Safe Mode, 8 = Reset IP) [59]</i>	62
<i>Figura 4.20 Módulo Ethernet Compact FieldPoint cFP-180x [59]</i>	62
<i>Figura 4.21 Ajustes de IP de subred [59].</i>	62
<i>Figura 4.22 Fieldpoints en NI MAX [59].</i>	63
<i>Figura 4.23 Importación de la configuración de los Fieldpoints.</i>	63
<i>Figura 4.24 Lectura Fieldpoint.</i>	64
<i>Figura 4.25 Escritura Fieldpoint</i>	64
<i>Figura 4.26 Configuración de las variables de los Fieldpoints.</i>	64
<i>Figura 5.1 Sistema SCADA</i>	65
<i>Figura 5.2 Conjunto de elementos del SCADA.</i>	66
<i>Figura 5.3 Subsistema Ventilación.</i>	68
<i>Figura 5.4 Ventilación Modo Control</i>	69
<i>Figura 5.5 Parámetros modificables (a) y lectura/escritura y visualización de variables (b).</i>	70
<i>Figura 5.6 Ventilación Modo Manual.</i>	70
<i>Figura 5.7 Ventilación modo Automático</i>	71
<i>Figura 5.8 Ventilación modo ensayo</i>	71
<i>Figura 5.9 Ventilación modo Ensayo</i>	72
<i>Figura 5.10 Ventilación modo ensayo PRBS</i>	72
<i>Figura 5.11 Subsistema Calefacción Aeroterma.</i>	73
<i>Figura 5.12 Subsistema Calefacción Biomasa.</i>	73
<i>Figura 5.13 Subsistema CO₂.</i>	74
<i>Figura 5.14 Parámetros modificables CO₂ (a) y lectura y visualización de variables (b)</i>	74
<i>Figura 5.15 Subsistema Riego.</i>	75
<i>Figura 5.16 Subsistema Humidificación.</i>	75
<i>Figura 5.17 Subsistema Deshumidificación.</i>	76
<i>Figura 5.18 Subsistema Luz Artificial.</i>	76
<i>Figura 5.19 Panel de acceso</i>	77
<i>Figura 5.20 Sesión iniciada</i>	77
<i>Figura 5.21 Mensaje de usuario o contraseña errónea</i>	77
<i>Figura 5.22 Ingreso de credenciales de administrador</i>	78
<i>Figura 5.23 Pantalla configuración.</i>	79

<i>Figura 5.24 Añadir/Suprimir Subsistemas</i>	79
<i>Figura 5.25 Subsistema añadido 1</i>	80
<i>Figura 5.26 Subsistema añadido 2</i>	80
<i>Figura 5.27 Subsistemas originales</i>	81
<i>Figura 5.28 Nuevo menú de Configuración</i>	81
<i>Figura 5.29 Configuración de variables</i>	82
<i>Figura 5.30 Salida de Fieldpoints</i>	82
<i>Figura 5.31 Panel de Configuración</i>	83
<i>Figura 5.32 Menú análisis</i>	84
<i>Figura 5.33 Gráfica de tendencias de la Humedad</i>	84
<i>Figura 5.34 Registro de variables</i>	85
<i>Figura 5.35 Alarmas del sistema SCADA</i>	85
<i>Figura 5.36 Alarma HR activada (a) y mensaje de alarma (b)</i>	86
<i>Figura 5.37 Alarmas</i>	86
<i>Figura 5.38 Lecturas en el sinóptico general</i>	87
<i>Figura 5.39 Lectura de las variables en gráficas</i>	87
<i>Figura 5.40 Envío de señal a los Fieldpoints</i>	88
<i>Figura 5.41 Indicación Leds de cierre lateral/cenital</i>	88

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Planificación temporal.....	6
Tabla 2.1 Características técnicas del sensor Campbell HC2S3.....	13
Tabla 2.2 Características técnicas del sensor Campbell HC2S3.....	13
Tabla 2.3 Características técnicas del sensor de CO ₂ E+E Elektronik EE820-C2	14
Tabla 2.4 Efectos del espectro electromagnético en vegetales.....	15
Tabla 2.5 Características técnicas del sensor de radiación Delta OHM LP PYRA 03 AV y Hukseflux LP02.	16
Tabla 2.6 Características técnicas del sensor de radiación PAR Apogee SQ-110.....	17
Tabla 2.7 Características técnicas del sensor de humedad Decagon GS1 y LSW	18
Tabla 2.8 Características técnicas del caudalímetro Burkert 8081	19
Tabla 2.9 Características técnicas transductor Camille Bauer SINEAX M563	20
Tabla 2.10 Características técnicas del sensor Vector Instruments A100L2/PC3.....	21
Tabla 2.11 Características técnicas del sensor Wittich&visser PRV-XL	21
Tabla 2.12 Características técnicas del sensor Delta Ohm HD2013.2.....	21
Tabla 2.13 Características técnicas del motor NERI Series T.....	24
Tabla 2.14 Características técnicas de la caldera biomasa Linea Missouri.....	26
Tabla 2.15 Características técnicas del generador aerotérmico Master.....	29
Tabla 2.16 Características técnicas de la bomba centrífuga Lowara SHE.....	30
Tabla 2.17 Características técnicas de la bomba Espa Multi20 5M.....	32
Tabla 2.18 Características técnicas de lámpara ETI.....	33
Tabla 2.19 Características técnicas del deshumidificador FRAL FD980	34
Tabla 2.20 Especificaciones técnicas cFP-1804.....	36
Tabla 2.21 Especificaciones técnicas del controlador cFP-2020.....	36
Tabla 2.22 Especificaciones técnicas cRio-9040.....	38
Tabla 4.1 Funciones de cada pantalla.....	47
Tabla 4.2 Botones accesibles desde el sistema SCADA.	51
Tabla 4.3 Botones accesibles desde el sistema SCADA (Continuación).....	52
Tabla 4.4 Paleta de colores.	53
Tabla 4.5 Tabla de botones (Continuación).....	54
Tabla 4.6 Iconos de elementos de los sistemas.....	57
Tabla 4.7 Consigna de referencia.....	58
Tabla 4.8 Interruptores del modo manual	59
Tabla 5.1 Variables del sistema.....	66
Tabla 5.2 Variables del sistema (Continuación I)	67
Tabla 5.3 Variables del sistema (Continuación II)	68
Tabla 5.4 Tipologías de alarmas	85
Tabla 5.5 Guía de evaluación.....	89
Tabla 5.6 Guía de evaluación (Continuación).....	90

Abstract

The main objective of this project is the development, improvement and implementation of a data Supervision, Control and Acquisition system better known as SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system in the greenhouse located at the company's facilities, Cajamar Foundation. For the development and programming of the SCADA system, the National Instruments software, LabVIEW® has been used. This graphical programming environment can be used to create applications with user interfaces. This tool uses icons to create applications instead of lines of text and instead of setting the execution order by the instructions, a graphical data flow is used. The system installed in the greenhouse consists of three cFP units and an NI CRIO with I/O modules connected via Ethernet protocol to a Wi-Fi router that will allow remote communication with a computer located in the offices of the Experimental Station "Las Palmerillas".

The SCADA system implemented in the plant as well as the improvements incorporated in this work have been developed under the criteria of international standards and design guidelines: ISO 9241, ISO 11064, UNE 500520:2003, ISA S5 and Gedis guide. The SCADA system will have the monitoring and visualization of all the variables that intervene in the process on the main screen where all the subsystems that make up the entire plant will also be displayed. The tool will allow the operator to navigate through the submenus corresponding to the control subsystems, configuration, with the possibility of configuring the control and analysis parameters, where the variables will be displayed graphically and where the records of the alarm states.

Keywords: Greenhouse climate control, industrial supervision, irrigation control.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo, mejora e implantación de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos más conocido como sistema SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control and Data Adquisition) en el invernadero situado en las instalaciones de la empresa, *Fundación Cajamar*. Para el desarrollo y programación del sistema SCADA se ha utilizado el software de *National Instruments, Labview®*. Este, es un entorno de programación gráfico que se puede utilizar para crear aplicaciones con interfaces de usuario. La herramienta usa iconos gráficos para crear aplicaciones en vez de líneas de texto y en vez de fijar la orden de ejecución por las instrucciones, se usa un flujo de datos gráfico. El sistema instalado en el invernadero está formado por tres unidades de cFP y un CRIO de NI con módulos de E/S conectados por medio de protocolo Ethernet a un router wifi que permitirá la comunicación de forma remota con un ordenador situado en las oficinas de la Estación Experimental "Las Palmerillas".

El sistema SCADA implementado en la planta así como las mejoras incorporadas en este trabajo han sido desarrolladas bajo un criterio de normas internacionales y guías de diseño: ISO 9241, ISO 11064, UNE 500520:2003, ISA S5 y guía Gedis. El sistema SCADA contará con la monitorización y visualización de todas las variables que intervienen en el proceso en la pantalla principal donde se mostrarán además todos los subsistemas que componen la totalidad de la planta. La herramienta permitirá la navegación del operario por los submenús correspondientes a los subsistemas de control, configuración, con la posibilidad de configuración de los parámetros de control y análisis, donde se podrá visualizar de forma gráfica las variables y donde se podrá ver los registros de los estados de alarma.

Palabras clave: control climático de invernadero, supervisión industrial, control de riego.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Motivación del proyecto.

La producción hortofrutícola en la provincia de Almería se ha ido superando en número en las últimas décadas [1]. Esto en gran medida se debe a las mejoras de las condiciones de producción de cultivo, como pueden ser; una mejora mecánica (incorporando ventanas laterales y cenital) o tecnológica (sistemas de control de cultivo) en las instalaciones, una mejora en la calidad de semilla ya que se realizan diversos estudios para obtener una planta con mayor resistencia tanto a plagas como a condiciones climatológicas adversas y una mejora en los fitosanitarios con el fin de ayudar al cultivo en el crecimiento y frente a plagas.

Cada cultivo posee unas necesidades ambientales, de riego o abono específicas para tener un mayor rendimiento a la hora de su producción. Esto es algo muy complejo de controlar ya que son numerosas las variables que intervienen y poco predecibles (clima, plagas) y muchos los factores que se deben de controlar para que esto ocurra. Pero con el paso del tiempo, los avances tecnológicos y los estudios en cultivos se han conseguido tener un control más relevante en estas variables por lo que se puede tener un mayor impacto del hombre para obtener una mayor producción. Estas exigencias del mercado y de las nuevas tecnologías han hecho que este proyecto se lleve a cabo en la estación experimental Fundación Cajamar [2] (El Ejido, Almería) que se ha configurado como un centro tecnológico de la agricultura del sureste (Ver figura 1.1)



Figura 1.1 Complejo “Las palmerillas” [3]

Desde los inicios de la estación experimental, se ha trabajado para unificar los avances en la agronomía con las condiciones específicas que requieren los sistemas productivos de la localidad de Almería. El trabajo conjunto de la estación experimental con la agricultura intensiva de Almería ha conseguido una sostenibilidad tanto económica y social como ambiental. Prueba de esta labor conjunta es la realización de becas, proyectos fin de carrera, tesis, seminarios y visitas organizadas a las instalaciones. Con el propósito de incluir todos los avances de la tecnología en el campo almeriense, el grupo ARM (Automática, Electrónica y Robótica) de la Universidad de Almería (UAL) [4] financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno de España [5], es el encargado de dirigir el proyecto de implantación de un sistema de supervisión y control remoto en una estructura agrícola instalada en la estación experimental Fundación Cajamar “Las palmerillas”.

Un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) es una aplicación informática diseñada para la ejecución en ordenadores con la finalidad u objetivo de realizar un control por pantalla de la producción con acceso a planta mediante una comunicación digital con los elementos y una interfaz gráfica de alto nivel para el usuario [6]. El presente proyecto pretende en primer lugar facilitar al operario o encargado de planta las tareas de supervisión y control creando un nuevo sinóptico general, dar la posibilidad gestionar subsistemas de forma intuitiva junto con la opción de crearlos o eliminarlos, gestionar el control de las variables y alarmas así como visualizarlas de forma sencilla a través de un control de accesos. En segundo lugar tiene la prioridad de reorganizar la programación agilizando la incorporación de próximas mejoras. En definitiva, todas estas mejoras se llevarán a cabo en la programación con el único objetivo de obtener un sistema SCADA con un sinóptico principal intuitivo y un control de los sistemas.

1.2 Objetivos.

La finalidad del presente proyecto es el desarrollo de nuevas funciones y mejoras del sistema de supervisión y control implantado en la estación experimental con el fin de facilitar la gestión por el operario incluyendo un nuevo sinóptico en el sistema SCADA. Estas mejoras supondrán la programación e incorporación de un nuevo subsistema a controlar, en este caso, un sistema de luz artificial, la facilidad de la incorporación de subsistemas y nuevas variables por defecto por orden del operario a través de un interruptor, la implantación de un sistema configurable de alarmas, la realización de un control de acceso a usuarios, la creación y programación de un nuevo menú para la visualización gráfica de las variables y el conocimiento de un registro de alarmas así como una mejor distribución y ordenamiento de los subsistemas ya instalados haciendo así una mejor comprensión del sistema de supervisión por parte del operario.

Toda la implantación de las mejoras de la interfaz gráfica de la estación experimental Fundación Cajamar se hará en el marco de una serie de normas, como la ISA 101 HMI (Human Machine Interfaces for Process Automation Systems) [7] y guías, como la guía GEDIS (Guía ergonómica de diseño de interfaz) [8] con el fin de evitar diseños robustos y tener una mejor experiencia por parte del operario evitando errores, pérdidas de tiempo y por consiguiente, ahorro económico.

El desarrollo y mejora permitirá conseguir unos subobjetivos:

1. Monitorización de todas las variables de forma gráfica y numérica que intervienen en el proceso de la producción del cultivo en un nuevo sinóptico (T^{a} interior invernadero, T^{a} exterior invernadero, Humedad relativa, etc....).
2. Control de acceso a usuarios.
3. Desarrollo de un sistema de alarma configurable.
4. Conocimiento del registro de alarmas y variables producidas en la planta.
5. Con el fin de agilizar la programación, incorporar nuevos subsistemas.
6. Preparación para el envío a plataformas online.

Para realizar el objetivo de control del cultivo, el sistema SCADA deberá interactuar con todos los instrumentos de la planta (actuadores, sensores). Para ello se realiza una comunicación de forma remota, que se configurará de tal forma que haya interacción entre los sistemas de control y el operario. Un subobjetivo para la realización de este TFG y por lo tanto para que se cumpla el objetivo principal es la configuración de los elementos que tiene el invernadero y que realizan la función de adquisición de datos.

1.3 Contexto.

Este Trabajo Fin de Grado se ha realizado en la disciplina de la Automática, colaborando con el Grupo de Investigación Automática, Robótica y Mecatrónica (ARM, TEP-197 del Plan Andaluz de Investigación) de la Universidad de Almería. Una de sus líneas de trabajo se centra en la gestión óptima de recursos energéticos (electricidad, calor, frío, etc.) y materiales (agua, CO₂, etc.) en distritos industriales. Actualmente la investigación relacionada se realiza en el marco del proyecto “Control y gestión óptima de recursos heterogéneos en distritos productivos agroindustriales integrando energías renovables” (CHROMAE) (DPI2017-85007-R) [9], financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Los objetivos principales de este proyecto son:

- Caracterización y modelado de los flujos de recursos e interrelaciones entre los elementos del distrito de la figura 1.2, que determinan la actividad productiva, basándose en el paradigma de los sistemas multigeneración distribuida y multi-energía.
- Desarrollo de estrategias de control de las variables descriptivas de funcionamiento de los elementos del distrito para satisfacer los objetivos cumpliendo especificaciones técnicas y minimizando el uso de los recursos.
- Desarrollo de estrategias de control y gestión integral y óptima de recursos heterogéneos necesarios para el funcionamiento de los elementos que constituyen un distrito agroindustrial utilizando técnicas de control que tengan en cuenta aspectos tanto económico y medioambiental, como el uso eficiente de los mismos.

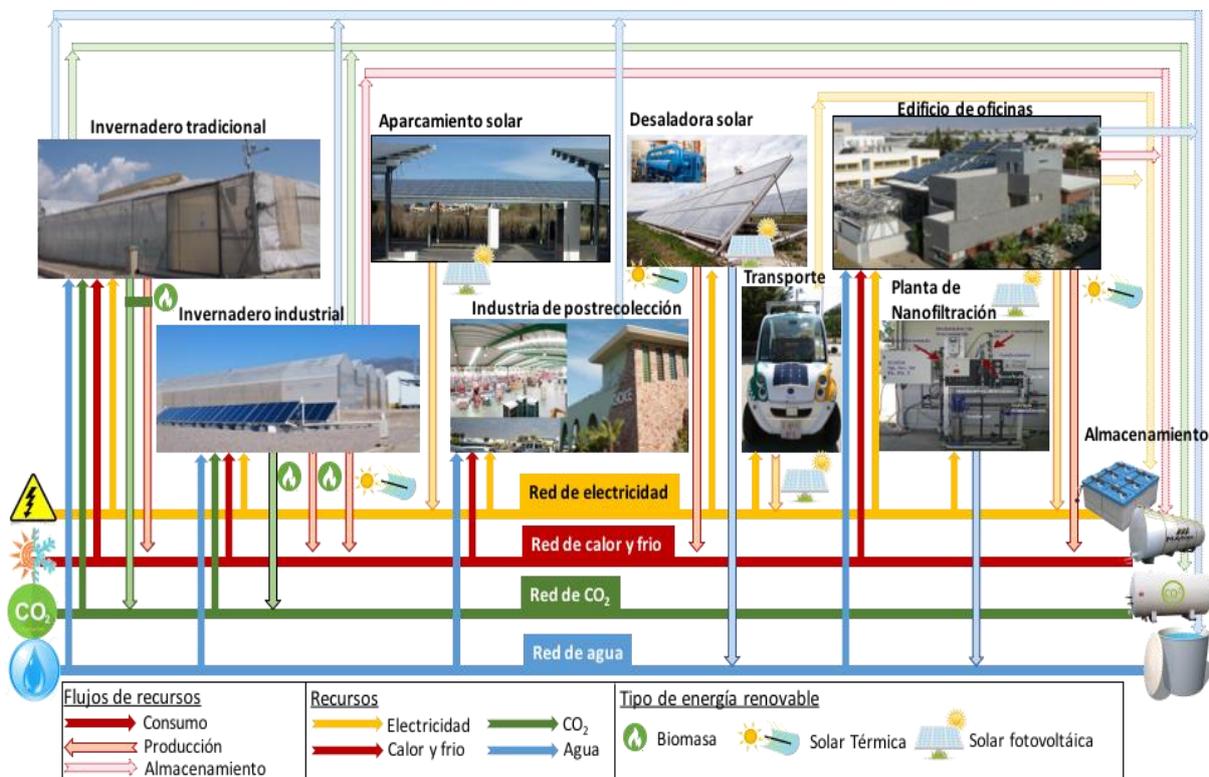


Figura 1.2 Flujo de los recursos heterogéneos a través de los elementos del distrito agroindustrial [9]

Este TFG se relaciona con los objetivos 1 y 2 del proyecto CHROMAE. Las aportaciones a este proyecto consisten en la mejora de la gestión de adquisición de datos e implementación de las estrategias de control de las variables climáticas del interior del invernadero. Para ello se ha creado un nuevo sinóptico general complementando en varias funciones como alarmas y control gráfico de variables al existente, también se ha implementado la programación de nuevos subsistemas así como la posibilidad de añadir y suprimirlos en función de las necesidades de la planta. Todo ello gestionado mediante un control de acceso que otorga privilegios de administrador al operario habilitado. Todo esto usando el software de National Instruments, Labview®.

1.4 Resumen de resultados.

En el marco del proyecto CHROMAE, el resultado de la mejora del sistema SCADA implementado en “Las Palmerillas” supone el seguimiento de sus objetivos. Esta nueva interfaz o sinóptico general (Ver figura 1.3) ayudará a interactuar de manera más intuitiva al operario.

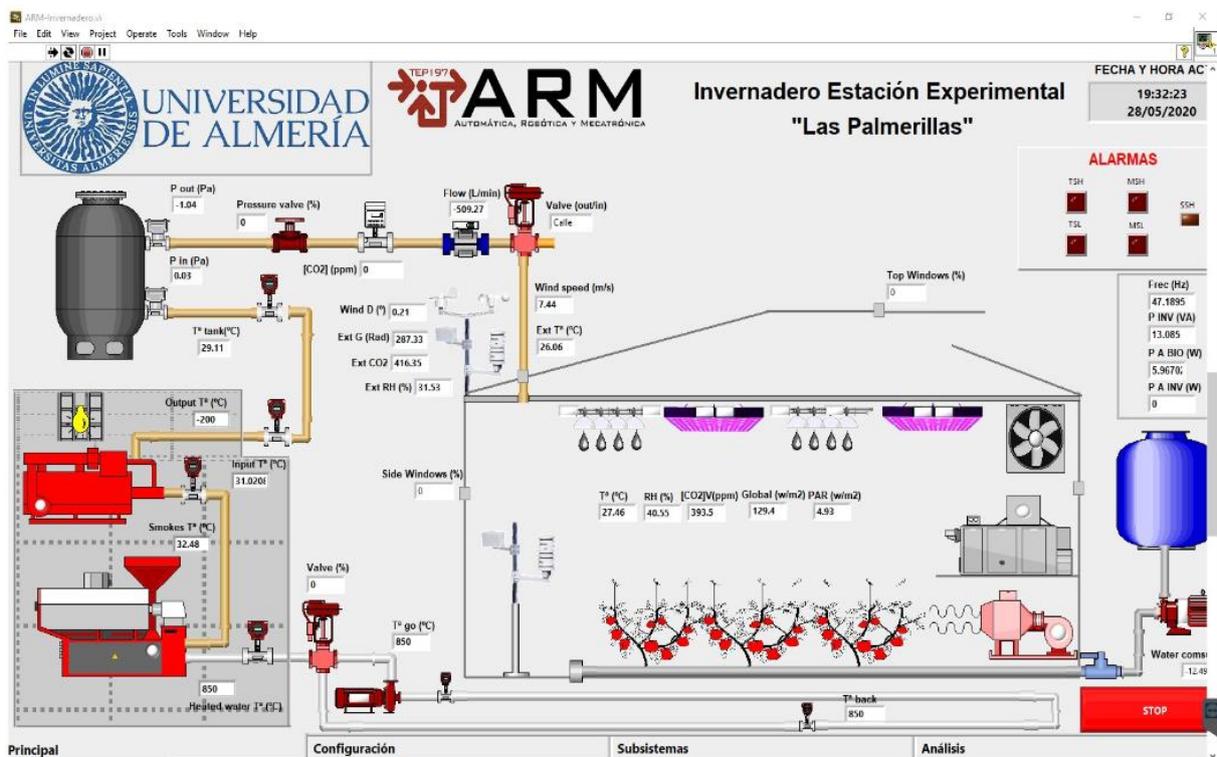


Figura 1.3 Pantalla principal del sinóptico

El resultado conjunto del desarrollo software y la arquitectura hardware proporcionan un nuevo entorno gráfico sencillo para el operario, facilitando la supervisión y control de todos y cada uno de los subsistemas que componen el sistema principal de cultivo así como de las principales variables que intervienen en el proceso. Otros aspectos de mejora han sido la creación del menú de análisis para incluir la visualización y registros de variables y alarmas del proceso de forma sencilla (Ver figura 1.4), la posibilidad de creación de nuevos subsistemas y variables por parte del operario facilitando así la introducción a nuevos elementos en la planta cubriendo necesidades futuras, el control de accesos que permitirá tener una mayor seguridad del sistema evitando intrusiones a la configuración no deseadas y la creación de un sistema de alarmas que permitirá tener constancia de anomalías ocurridas. La respuesta del operario ante el nuevo sistema SCADA, evaluada esta, mediante la guía GEDIS ha sido aceptable. La guía de evaluación del nuevo sinóptico de la planta ha dejado una evaluación global de 4 puntos siendo la máxima puntuación de 5.

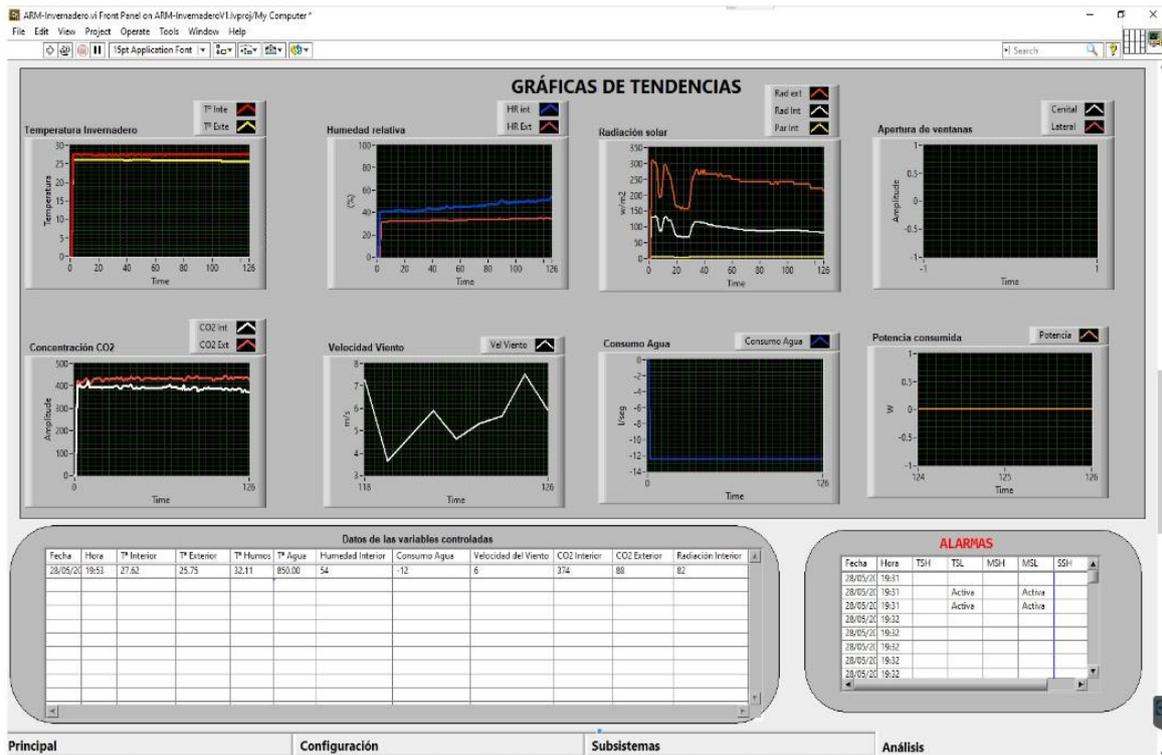


Figura 1.4 Menú Análisis

Los aspectos de mejora de este trabajo fin de estudios comentados anteriormente se presentan en la figura 1.5 donde se puede ver el mapa conceptual de las nuevas opciones e incorporaciones del sistema SCADA.

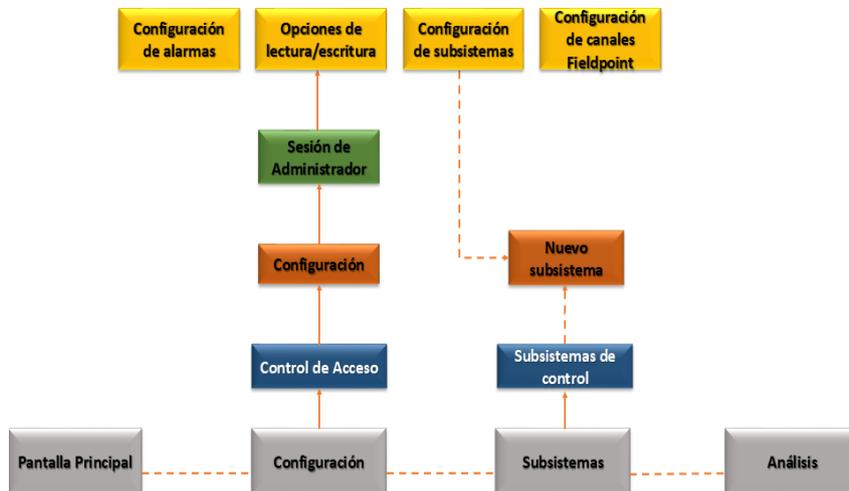


Figura 1.5 Mapa conceptual de las mejoras

Pulsando el icono mostrado a continuación, se podrá visualizar un video explicativo del sistema SCADA ejecutado remotamente en el invernadero de la estación experimental de “Las Palmerillas”.



1.5 Planificación temporal.

En este apartado se presenta el tiempo invertido en el desarrollo del proyecto, desde el previo reconocimiento del software, la programación de los nuevos elementos hasta la redacción y finalización de la memoria. A continuación se muestra la información en la siguiente tabla 1.1 y tabla 1.2 (Continuación).

Fecha	Tarea Realizada	Duración
Junio 2018	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de las necesidades impuestas para el desarrollo del proyecto. Estudio del software anterior. Identificación de los elementos que componen la planta (actuadores, sensores). 	15 días
Julio 2018	<ul style="list-style-type: none"> Adquirir conocimientos del software Labview® Adquirir conocimientos de los elementos de National Instruments, como CompactRio o Compact Fieldpoint. Estructuración del sistema SCADA anterior. 	20 días
Septiembre 2018	<ul style="list-style-type: none"> Programación del sistema de supervisión, adquisición y control de datos. Configuración de los sistemas de adquisición. Mejora de la interfaz gráfica. 	20 días
Noviembre 2018	<ul style="list-style-type: none"> Programación del sistema de supervisión, adquisición y control de datos. Configuración de los sistemas de comunicación. 	20 días
Diciembre 2018	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación de la interfaz gráfica a la normativa. Configuración de los nuevos elementos de NI Configuración de la estructura e interfaz gráfica. 	15 días
Junio 2019	<ul style="list-style-type: none"> Corrección de errores en la programación. Puesta en marcha del nuevo subsistema en el SCADA Valoración del cumplimiento de la guía GEDIS. Recopilación de datos para el desarrollo de la memoria. 	15 días
Julio 2019	<ul style="list-style-type: none"> Corrección de errores en la programación Redacción de la memoria del TFG 	15 días
Enero 2020	<ul style="list-style-type: none"> Finalización de la programación. 	10 días
Marzo 2020	<ul style="list-style-type: none"> Finalización de la memoria 	10 días

Tabla 1.1 Planificación temporal

El tiempo de dedicación a la realización del proyecto, ha sido de un total de 700 horas de trabajo habiendo empleado en cada día unas 5 horas de media.

1.6 Competencias utilizadas en el TFG.

Las competencias son la agrupación, reconocible y evaluable de conocimientos, actitudes, valores, habilidades y destrezas, relacionados entre sí, que permitirán al estudiante el ejercicio de la actividad profesional conforme a las exigencias y estándares utilizados en el área ocupacional correspondiente. [10].

Todos los grados de la Universidad de Almería contemplan, tres tipos diferentes de competencias:

- Competencias genéricas incluidas en el *Real Decreto 1393/2007*, de 29 de octubre, por el que establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.
- Competencias genéricas de la Universidad de Almería (aprobadas en el Consejo de Gobierno de 17 de junio de 2008).
- Competencias específicas del título.

Durante la realización de este trabajo, se han asumido una serie de tareas que comprenden unas competencias a nivel básico dentro del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial. Estas tareas comprenden las siguientes competencias básicas:

- CB1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio
- CB3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
- CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

Las competencias transversales también han sido utilizadas durante la realización del trabajo ya que se ha dispuesto de los conocimientos básicos de la profesión, así como la comunicación oral y escrita, la capacidad de trabajo autónomo entre otras de las competencias transversales que estipulan la Universidad de Almería.

- UAL1- Conocimientos básicos de la profesión.
- UAL2- Habilidad en el uso de las TIC.
- UAL3- Capacidad de resolver problemas.
- UAL4- Comunicación oral y escrita en la propia lengua.
- UAL6 - Trabajo en equipo
- UAL7- Conocimiento de una segunda lengua.
- UAL8- Compromiso ético.
- UAL9 - Capacidad de aprender a trabajar de forma autónoma.
- UAL10 – Competencia social y ciudadanía global

El desarrollo de este proyecto ha requerido de unas tareas auxiliares para su finalización como la configuración de elementos de comunicación, programación en lenguaje gráfico, conocimientos de configuración de redes, interpretación de datos, así como conocimientos de dispositivos sensores y elementos actuadores entre otras, poniendo todo ello a prueba las competencias del alumnado específicas del grado de Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Almería.

- CT1. Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial que tengan por objeto la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización.
- CT2. Capacidad para la dirección, de las actividades objeto de los proyectos de ingeniería descritos en el epígrafe anterior.
- CT3. Conocimiento en materias básicas y tecnologías que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- CT4. Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la ingeniería Industrial.
- CT5. Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.
- CT6. Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- CT7. Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.
- CT8. Capacidad para aplicar los principios y métodos de la calidad.
- CT9. Capacidad de organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones.
- CT10. Capacidad de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.
- CB3. Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en la ingeniería.
- CRI5. Conocimientos de los fundamentos de la electrónica.
- CRI4. Conocimiento y utilización de los principios de teoría de circuitos y máquinas eléctricas.
- CRI6. Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- CRI10. Conocimientos básicos y aplicación de tecnologías medioambientales y sostenibilidad.
- CTEE4- Conocimiento aplicado de electrónica de potencia.
- CTEE7. Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas.
- CTEE8. Conocimientos de regulación automática y técnica de control y su aplicación a la automatización industrial.
- CTEE10. Conocimientos aplicados de informática industrial y comunicaciones.
- CTEQ2. Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos.

1.7 Estructura de la memoria del TFG.

En el siguiente apartado, se expone de manera resumida la organización de la memoria del proyecto, recogida y organizada en seis capítulos diferentes.

En el primer capítulo se incluye la información de nivel general de los aspectos más importantes del proyecto, desde el resumen del trabajo hasta la estructuración del mismo. Es el segundo capítulo donde se describe de forma detallada la planta y los distintos elementos que intervienen en el proceso de control de la misma. El tercer capítulo, desglosa las especificaciones de diseño del sistema SCADA así como la normativa aplicada en el diseño de este proyecto.

El capítulo número cuatro, contiene las fases de diseño utilizadas en la realización del sistema SCADA y son detallados los trabajos que han sido realizados en cada una de las fases, así como la arquitectura utilizada en el propio sistema. El quinto, expone los resultados finales de las pantallas del sistema SCADA, los resultados de la puesta en marcha en la planta real e incluye la evaluación del operario. El sexto y último capítulo de la memoria, muestra las conclusiones a las que se han llegado una vez finalizado el proyecto e incluye una serie de trabajos futuros de mejora.

Por último, el anexo I incluye los módulos de entrada y salida de los Compact Fieldpoints y el anexo II incorpora la plantilla de programación.

2. DESCRIPCIÓN DE PLANTA

En este capítulo se hará referencia a la planta y los elementos involucrados en todo el proceso así como los principales equipos y sistemas que conforman el sistema de supervisión, adquisición y control de datos.

2.1 Descripción general de la planta.

El sistema de supervisión, adquisición y control de datos ha sido instalado en uno de los invernaderos de La estación experimental Cajamar Las Palmerillas (El Ejido, Almería). El invernadero, (Figura 2.1) para el cual se desarrolló el sistema de supervisión y adquisición de datos es un invernadero tipo Almería, ya que es en la provincia sureña española donde surgió este tipo de estructuras para el cultivo de hortalizas [11] y dentro de gamas de tipología de invernaderos, se trata de una modificación de invernadero tipo parral (Ver figura 2.2).



Figura 2.1 Invernadero (Estación Experimental Cajamar). [12]



Figura 2.2 Invernadero tipo parral [13]

Este tipo de invernaderos está caracterizado por una estructura vertical y otra horizontal. La parte vertical está formada por postes fijos de dos tipos; perimetrales e interiores. Los postes perimetrales se dividen en: los cercos perimetrales y los soportes esquineros. Estos últimos, son los encargados de fijar la altura de las bandas y hacer de soporte contra los vientos así como fijar las cordadas de alambre de la parte superior del invernadero.

Los postes interiores son los responsables de contener el peso del invernadero y de fijar la altura. Todos estos tipos de postes pueden estar fabricados de madera o hierro galvanizado como es el caso de los utilizados en la planta. La estructura superior o parte horizontal está formada por una malla doble de alambre conocidas como tejido que envuelve la lámina de plástico que cubre la estructura plana superior del invernadero. La planta tiene una extensión total de 877 m² (37.8 x 23.2 m) con una altura variable (2.8 – 4.4 m).

2.2 Descripción del sistema sensorial.

El invernadero incorpora una red de sensores amplía la cual está monitorizada en el sistema SCADA. Entre ellos, la temperatura del aire del interior del invernadero y del pasillo, se miden mediante el sensor (*Campbell HC2S3*) [14]. La temperatura del suelo es medida con el sensor (*Decagon Devices RT-01*) [15]. La humedad relativa interna y del pasillo se medirá mediante el sensor (*Campbell HC2S3*). La concentración de CO₂ del interior mediante (*E+E Elektronik EE820-C2*) [16]. La radiación solar interna se mide con dos piranómetros (*Delta OHM LP PYRA 03 AV* y *Hukseflux LP02*) [17] [18] y la radiación fotosintética activa PAR con (*Apogee SQ-110*) [19]. La humedad del sustrato y de la hoja del cultivo será medida con (*Decagon GS1* y *LSW*) [20] [21] respectivamente. Para el sistema de riego se usa un microlisímetro para las medidas de caudal de la marca y modelo *Burkert 8081* [22].

A parte de esta gama de sensores y dispositivos, el invernadero cuenta con una estación meteorológica situada en su exterior justo en la parte superior de la puerta principal. Con ella mide la temperatura y humedad relativa del aire mediante (*Campbell HC2S3*), la radiación solar con el dispositivo (*Delta-Ohm LP PYRA 03*), la radiación fotosintética exterior con (*Apogee SQ-110*), concentración de CO₂ exterior con (*E+E Elektronik EE820-C2*), dirección del viento con (*Wittich & visser PRV-XL*) [23] y velocidad del viento mediante (*Vector Instruments A100L2/PC3*) [24] y cuenta con un detector de lluvia (*Delta OHM HD2013.2*) [25]. Toda la instalación dispone de un control de potencias tanto activa medida en [W] como reactiva medida en [VA] así como un control de frecuencia [Hz] mediante el transductor de potencia *Camille Bauer SINEAX M563* [26].

2.2.1 Medida de Temperatura y Humedad.

Un sensor de temperatura es un dispositivo que detecta las variaciones de temperatura del aire siendo capaz de convertir dichas variaciones en una señal eléctrica. La temperatura puede ser medida por sensores de diferentes tipologías.

Los tres tipos de sensores de temperatura más importantes son; termopares, termistores y RTD (Resistance Temperature Detector). Todos ellos tienen en común el cambio de una característica física para medir la temperatura. Los sensores de temperatura se componen de tres partes: un dispositivo sensor, una vaina de material conductor en su interior y un cable que conecta al sistema electrónico.

El sensor instalado en la planta es del tipo RTD o sensor de temperatura por resistencia. Este tipo de sensores basan su funcionamiento en la variación de resistencia a la temperatura del material del que están compuestos. El sensor encargado de medir la temperatura exterior, interior y del pasillo del invernadero es el sensor de temperatura *Campbell HC2S3* el cuál incorpora un sensor *PT100 RTD, IEC 751 1/3 Class B* (Ver figura 2.3). El modelo *HC2S3* se caracteriza por ser preciso y robusto, ideal para aplicaciones de larga duración en lugares con condiciones climáticas adversas como es el caso.

Las principales características del sensor de temperatura *Campbell HC2S3* son las mostradas en la tabla 2.1:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Campbell HC2S3	PT100 RTD, IEC 751 1/3 Class B	°C	-40 a 60 °C	0 a 1 V	Analógica

Tabla 2.1 Características técnicas del sensor Campbell HC2S3.



Figura 2.3 Sensor temperatura Campbell HC2S3 [14]

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad de aire que puede albergar a dicha temperatura. La humedad relativa es un cálculo matemático que se ofrece en un valor definitivo en porcentaje mostrado en la ecuación (1.1).

$$HR = \frac{\text{Masa de vapor de agua que tiene el aire}}{\text{Masa de vapor de agua en saturación a igual temperatura}} * 100 \quad (1.1)$$

donde *HR*, es humedad relativa medida en [%].

Según el parámetro con el que se mide la humedad, los sensores de humedad pueden clasificarse en sensores capacitivos, sensores resistivos o sensores con conductividad térmica. El sensor o sonda de humedad utilizado en la planta para medir la humedad relativa exterior e interior del invernadero es el mismo empleado para la medida de temperatura interior, exterior y del pasillo del invernadero, el sensor *Campbell HC2S3* que incorpora un sensor de humedad denominado *ROTRONIC® Hygromer IN-1* [27] el cual es un sensor de humedad de tipo capacitivo instalado en la misma sonda del sensor de temperatura mostrado anteriormente. Este tipo de sensores de humedad basan su funcionamiento en la medición del efecto de la humedad en la constante dieléctrica, en este caso, el aire.

Las principales características del sensor de humedad relativa *Campbell HC2S3* son las mostradas en la tabla 2.2:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Campbell HC2S3	ROTRONIC® Hygromer IN-1	%	0 a 100 %	0 a 1 V	Analógica

Tabla 2.2 Características técnicas del sensor Campbell HC2S3

2.2.2 Medida de CO₂

El CO₂ o dióxido de carbono es uno de los principales factores determinantes en la velocidad de la fotosíntesis por lo que es un factor determinante también en el crecimiento y productividad de la hortaliza. La concentración óptima de CO₂ para el desarrollo de las especies hortícolas se ha establecido en el rango de 700 - 1000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Por esta importancia el CO₂ es otra variable que se contempla en el control de la planta. El dispositivo empleado para medir el CO₂ en el interior, exterior y pasillo del invernadero es el modelo E+E Elektronik EE820-C2 (Ver figura 2.4).



Figura 2.4 Sensor de CO₂ Delta Ohm EE820-C2

Este tipo de sensores trabajan mediante infrarrojos. Su funcionamiento se basa en una lámpara infrarroja que proyecta su haz por un tubo relleno de aire donde al final se encuentran un filtro óptico y un detector de luz IR. La diferencia entre la cantidad de luz radiada por el proyector infrarrojo y la cantidad de luz infrarroja recibida por el detector se mide, siendo el resultado de la luz absorbida por las moléculas de CO₂ en el aire dentro del tubo la cantidad proporcional al número de moléculas de CO₂. (Ver figura 2.8).

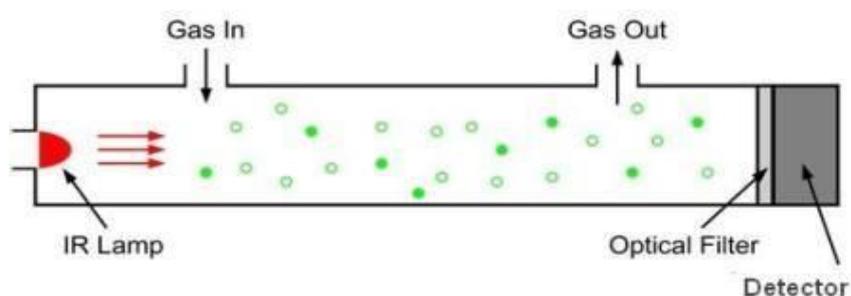


Figura 2.5 Funcionamiento del sensor de CO₂ por infrarrojos [28].

Las principales características del sensor de CO₂ E+E Elektronik EE820-C2 son las mostradas en la tabla 2.3:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Elektronik EE820-C2	NDIR CO ₂	ppm	0 a 2000 ppm	0 a 5 V	Analógica

Tabla 2.3 Características técnicas del sensor de CO₂ E+E Elektronik EE820-C2

2.2.3 Medida de radiación.

La radiación solar también es sin duda una variable importante en el crecimiento de las hortalizas de debido a su papel fundamental en la fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas transforman la luz del sol o energía lumínica en energía química aprovechada para su alimento y funciones vitales.

Dentro de la energía lumínica, el espectro electromagnético se divide en tres regiones o zonas; luz ultravioleta (100 a 380 nm), el espectro visible que es el aprovechado por las plantas para su fotosíntesis que se sitúa en las longitudes de onda entre 380 nm y 760 nm divididas en violeta (380 a 430 nm), azul (430 a 500 nm), verde (500 a 570 nm), amarillo (570 a 590 nm), naranja (590 a 630 nm) y rojo (630 a 760). (Ver figura 2.5) y luz infrarroja (700 a 3000 nm).

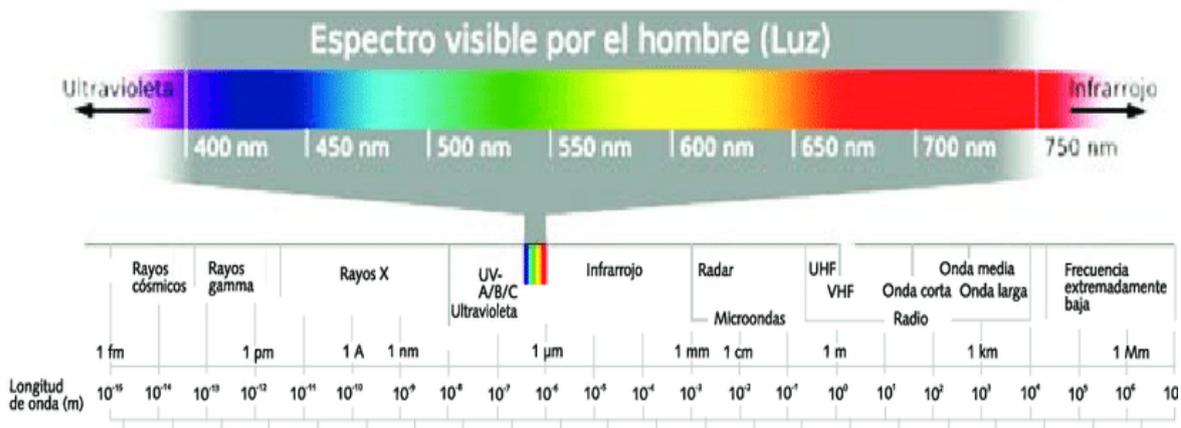


Figura 2.6 Espectro visible [29]

Dentro del espectro visible las longitudes de onda afectan de distinta manera a las plantas. La tabla 2.4 muestra dichas influencias.

Color	Longitud de onda [nm]	Efecto sobre las plantas
Ultravioleta medio/corto	<280	Efecto letal para plantas y acción germicida.
Ultravioleta largo	280-380	Daños no deseables en plantas
Violeta-azul	380-490	Efectos fotosintéticos
Verde-amarillo	490-595	Efectos fotosintéticos limitados
Rojo-naranja	595-760	Máximo efecto fotosintético
Infrarrojo medio/corto	760-2500	Calentamiento ambiente y crecimiento excesivo
Infrarrojo largo	>2500	Efecto de calentamiento ambiente

Tabla 2.4 Efectos del espectro electromagnético en vegetales

El invernadero cuenta con tres sensores de radiación para su monitorización. Para la radiación interna se emplea dos sensores; *Delta OHM LP PYRA 03 AV* y *Hukseflux LP02* (Ver figuras 2.7a y 2.7b). Ambos sensores miden la radiación solar mediante un sensor de termopila ennegrecida.

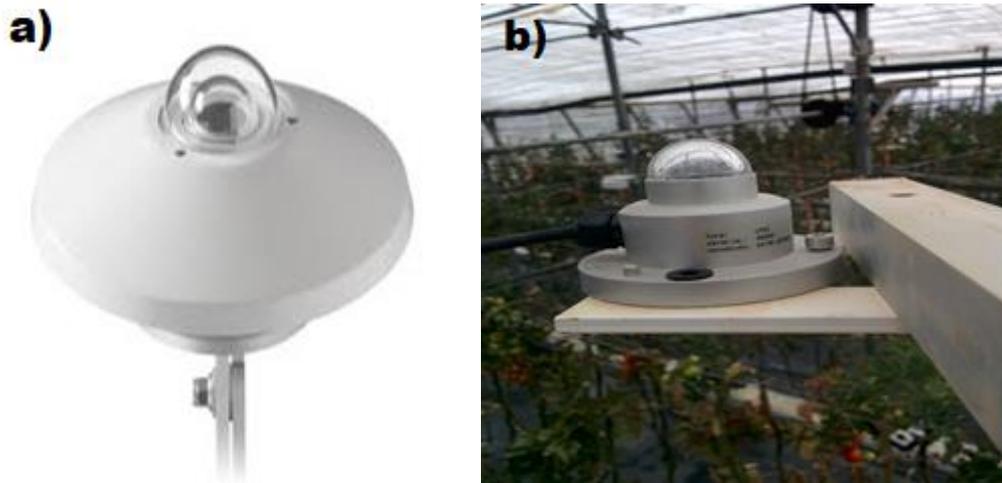


Figura 2.7 Sensor de radiación Delta OHM LP PYRA 03 AV (a) y Hukseflux LP02 (b)

Este tipo de dispositivos usan el principio de detección termoeléctrica, por el que la radiación que entra en el dispositivo es absorbida por una superficie horizontal ennegrecida. El aumento de temperatura resultante de esa radiación se mide a través de sensores de temperatura termopares siendo esta la cantidad proporcional de radiación. Las uniones activas se sitúan por debajo de la superficie ennegrecida del receptor y utilizan la radiación absorbida por calentarse mientras que las uniones pasivas de la termopila mantienen un contacto térmico con la carcasa del piranómetro, actuando este como disipador térmico (Ver figura 2.8). Las principales características del sensor de radiación *Delta OHM LP PYRA 03 AV* y *Hukseflux LP02* son las mostradas en la tabla 2.5:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Delta OHM LP PYRA 03 AV	Termopila	W/m ²	0 a 2000 W/m ²	0 a 5 V	Analógica
Hukseflux LP02	Termopila	W/m ²	0 a 2000 W/m ²	0 a 0.05 V	Analógica

Tabla 2.5 Características técnicas del sensor de radiación Delta OHM LP PYRA 03 AV y Hukseflux LP02.

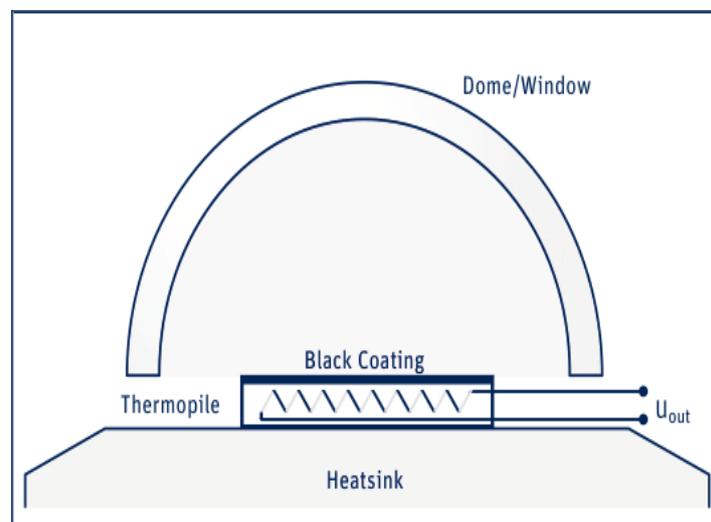


Figura 2.8 Principio de funcionamiento de sensor de radiación [30].

Para la radiación externa de la instalación; se usa el modelo *Hukseflux LP02* usando el mismo principio de funcionamiento para monitorizar la radiación interna. (Ver figura 2.9).



Figura 2.9 Sensor de radiación Hukseflux LP02

La instalación cuenta también con un sensor para monitorizar la radiación fotosintética activa (FVR, o PAR en inglés – Photosynthetically Active Radiation); *Apogee SQ-110* (Ver figura 2.10). El dispositivo *Apogee SQ-110*, es un sensor cuántico (un cuanto se refiere a la cantidad mínima de radiación, un fotón) analógico calibrado para su uso bajo la luz solar y cuyo funcionamiento no necesita alimentación ya que es un sensor autoalimentado. Este sensor es el encargado de medir el flujo de fotones fotosintéticos en todo su rango de adquisición generando una salida proporcional a la radiación captada.

Las principales características del sensor de radiación *PAR Apogee SQ-110* son las mostradas en la tabla 2.5:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
PAR Apogee SQ-110	Cuántico	W/m ²	0 a 1300 W/m ²	0 a 0.8 V	Analógica

Tabla 2.6 Características técnicas del sensor de radiación PAR Apogee SQ-110



Figura 2.10 Sensor de radiación PAR Apogee SQ-110

2.2.4 Medida de humedad del cultivo.

Otra variable importante en el crecimiento de la planta, es la humedad. Una razón más para tener en cuenta la humedad es que en días calurosos, la temperatura de una planta se regula mediante la refrigeración a través de la evaporación de agua. Unos estomas abiertos garantizan la evacuación del calor mientras que si se encuentran cerrados la temperatura de la planta subirá rápidamente haciendo que la fotosíntesis frene su proceso.

Para tener constancia de estos aspectos se usan los sensores de humedad *Decagon GS1* y *LWS* respectivamente (Ver figura 2.11a y 2.11b) usados para ver la cantidad volumétrica de agua contenida en el sustrato y la humedad foliar de las hojas. El dispositivo *Decagon GS1* es un sensor de contenido volumétrico de agua del tipo FDR basado en la reflectometría en el dominio de la frecuencia de ahí su acrónimo (Frequency Domain Reflectometry). Este mide con precisión la capacitancia eléctrica del suelo determinada en gran medida por la constante dieléctrica del material que se encuentra entre las placas del sensor. Su volumen total es de 430 ml.

El sensor de humedad de hoja *Decagon LWS* se diseñó con la finalidad de detectar la humedad foliar y la formación de hielo en las hojas del cultivo. Construido con una fina capa de fibra de vidrio, imita el comportamiento de una hoja donde la humedad se condensa y se evapora a la misma velocidad que en una hoja de planta real. Su funcionamiento se basa en detectar la humedad en la hoja del cultivo mediante la medición de la constante dieléctrica en el extremo de este. Las principales características de los sensores de humedad *Decagon GS1* y *Decagon LSW* son las mostradas en la tabla 2.7:

Modelo	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Decagon GS1	%	0 a 57%	1 a 2,5 V	Analógica
Decagon LSW	%	0 a 57%	2.5 a 5 V	Analógica

Tabla 2.7 Características técnicas del sensor de humedad *Decagon GS1* y *LSW*

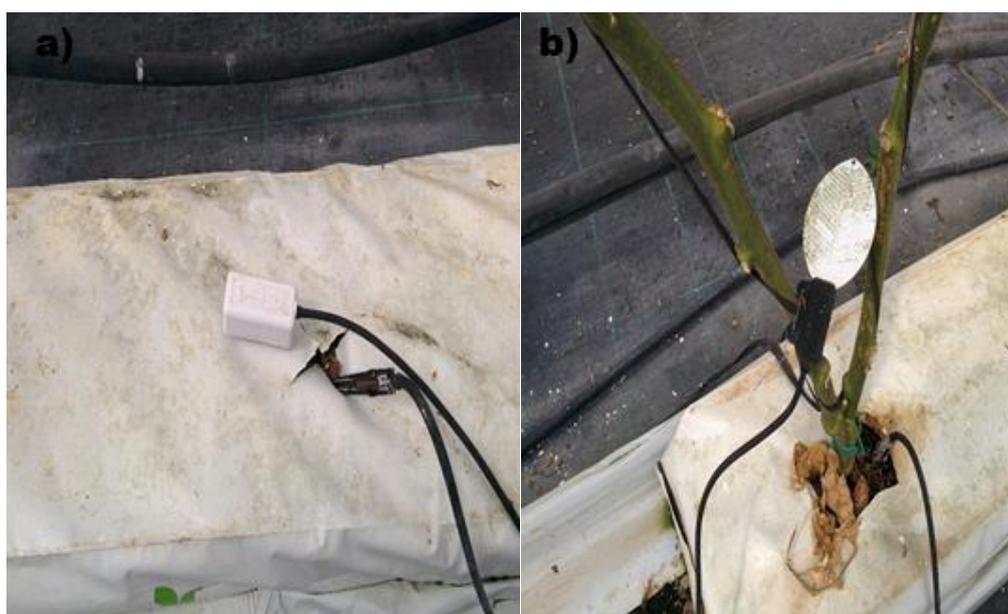


Figura 2.11 Sensor de humedad *Decagon GS1* (a) y *LWS* (b)

2.2.5 Medida de caudal de agua.

En el sistema de riego, la variable monitorizada, es el flujo de agua que circula por la red de tuberías que componen el sistema de regadío. Esta variable es medida mediante un caudalímetro, que es un dispositivo de medida encargado de medir la masa de agua o caudal de algún fluido que pasa a través de este. Se suelen colocar en serie con la tubería por donde circula el fluido, en este caso, el agua. En el invernadero de la estación experimental, se encuentra instalado un caudalímetro del modelo *Burkert tipo 8081* parecido al mostrado en la figura (Ver figura 2.12).



Figura 2.12 Caudalímetro Burkert 8081 [22]

Este tipo de caudalímetro basa su funcionamiento en el cambio de frecuencia de una señal ultrasónica cuando se reflejan partículas o burbujas en suspensión en el agua. Este efecto también es conocido como efecto Doppler (Ver figura 2.13) y consiste en la variación de frecuencia de una onda producida por el movimiento de esta.

Las principales características del caudalímetro *Burkert 8081* son las mostradas en la tabla 2.8:

Modelo	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Burkert 8081	L/min	0 a 50 L/min	4 a 20 mA	Analógica

Tabla 2.8 Características técnicas del caudalímetro Burkert 8081

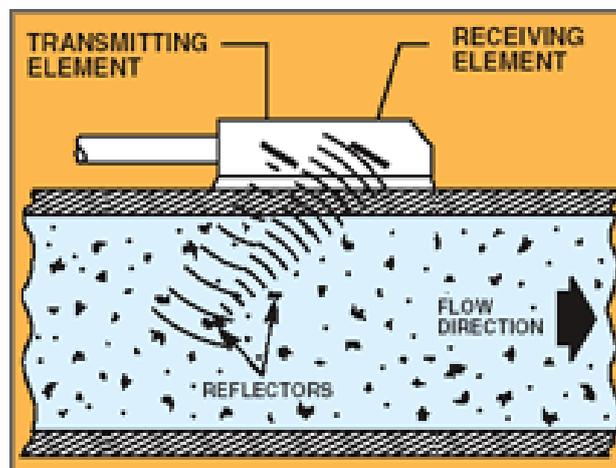


Figura 2.13 Efecto Doppler en caudalímetro Burkert [31]

2.2.6 Medida de consumo de potencia eléctrica.

Todas las variables climatológicas citadas anteriormente se encuentran monitorizadas por un control de potencias tanto activa, medida en [W] como reactiva, medida en [VA] así como un control de frecuencia [Hz] mediante el convertidor de medida multifuncional de potencia *Camille Bauer SINEAX M563* (Ver figura 2.14) encargado de registrar las magnitudes eléctricas del proceso.

El watímetro es el dispositivo encargado de medir potencias del circuito eléctrico que alimenta toda la red de sensores y actuadores de la planta. Está formado por dos bobinas fijas o bobinas de corriente y una bobina móvil o bobina de tensión. Su funcionamiento se basa en dejar pasar una corriente por la bobina fija haciendo que esa corriente sea proporcional a la tensión del circuito en la bobina móvil consiguiendo de este modo un ángulo de giro proporcional al producto de ambas bobinas obteniendo así la potencia del circuito. Por otra parte, el transductor es un dispositivo de medida de parámetros eléctricos como pueden ser corriente, tensión, factor de potencia, etc... que se encarga de convertir estos parámetros en una señal eléctrica de salida proporcional a la entrada con el fin de conocer las salidas de todos los dispositivos así como sus consumos reales. Las principales características del transductor de potencia SINEAX M563 son las mostradas en la tabla 2.9:

Modelo	Unidad de medida	Rango de trabajo eléctrico	Salida
Camille Bauer SINEAX M563	W, VA, Hz	57.7 to 400 V (fase-neutro) 100 to 693 V (fase-fase)	Analógica

Tabla 2.9 Características técnicas transductor Camille Bauer SINEAX M563



Figura 2.14 Transductor de potencia SINEAX M563.

2.2.7 Estación Meteorológica exterior.

La dirección y velocidad del viento así como la cantidad de lluvia están monitorizadas mediante los dispositivos que forman una estación meteorológica situada en el exterior del invernadero. La velocidad del viento es medida mediante un anemómetro de tipo rotación de la marca y modelo *Vector Instruments/ A100L2/PC3* (Ver figura 2.15). Este sensor de velocidad del viento usa un disco ranurado que interrumpe un haz de luz para detectar el movimiento de un rotor interno y, por lo tanto, determinar la velocidad del viento. La electrónica interna condiciona una señal de pulso para la salida como una onda cuadrada de 5V y la usa para generar un voltaje analógico proporcional a la velocidad del viento.



Figura 2.15 Anemómetro Vector Instruments.

Las principales características del sensor de velocidad del viento *Vector Instruments A100L2/PC3* son las mostradas en la tabla 2.10:

Modelo	Rotor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Vector Instruments A100L2/PC3	R30, 3 cup rotor	m/s	0 a 75 m/s	0 a 5 V	Analógica

Tabla 2.10 Características técnicas del sensor *Vector Instruments A100L2/PC3*

Otra variable monitorizada es la dirección del viento. Esto se realiza mediante un dispositivo llamado veleta (Ver figura 2.16) el cual indica la dirección en la que sopla el viento. El dispositivo basa su funcionamiento en la posición de un potenciómetro movido por el viento para conocer su dirección. La instalación debe prestar especial cuidado ya que este tipo de dispositivos es necesario que se instalen de cara al norte geográfico. La veleta utilizada en la planta es del fabricante *Wittich & visser* y el modelo *PRV-XL*. Las principales características del sensor de dirección del viento *Wittich & visser PRV-XL* son las mostradas en la tabla 2.11:

Modelo	Sensor	Unidad de medida	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico
Wittich&visser PRV-XL	Potenciómetro	deg	0 a 360 deg	4 a 20 mA

Tabla 2.11 Características técnicas del sensor *Wittich&visser PRV-XL*

Otra variable meteorológica monitorizada en la planta es la cantidad de lluvia. El dispositivo encargado de su medición es el detector de lluvia *Delta Ohm HD2013.2* como el mostrado en la figura (Ver figura 2.17). Es un detector de lluvia basado en el principio capacitivo. El valor de medida del elemento se basa en un soporte de aluminio donde caen las gotas de agua y según esta cantidad de agua, detectar si está lloviendo o no. Un calentador integrado en el detector lo mantiene seco, evaporando el agua caída y evitando falsas señales debidas a niebla o fenómenos de condensación.

Las principales características del detector de lluvia *Delta Ohm HD2013.2* son las mostradas en la tabla 2.12:

Modelo	Rango de trabajo físico	Rango de trabajo eléctrico	Señal eléctrica
Delta Ohm HD2013.2	SI/NO	0 a 1 V	Analógica

Tabla 2.12 Características técnicas del sensor *Delta Ohm HD2013.2*



Figura 2.16 Veleta Wittich & visser PRV-XL [23]



Figura 2.17 Detector de lluvia Delta Ohm HD2013.2 [25]

2.3 Descripción del sistema de actuación.

Junto a la red de sensores que se disponen para la monitorización y observación de las variables de control del invernadero de la Fundación Cajamar, se cuenta con una serie de dispositivos y sistemas actuadores que realizan las acciones de control total de las variables implicadas en el crecimiento y desarrollo hortícola del interior del invernadero.

Este conjunto de actuadores está formado por: un sistema de ventilación automática con ventanas en ambas paredes laterales y una ventana en cada tramo en el techo que permiten la apertura de las ventanas de forma automática a través de motores del fabricante *NERI* y del modelo *Series T* [32], un sistema de calefacción con un generador aerotérmico de 95 kW del modelo *MASTER BLP* [33].

Un sistema de calefacción basado en biomasa que consta de un sistema de combustión de residuos de invernadero con caldera de biomasa del modelo *Linea Missouri* [34] y un sistema de almacenamiento de CO₂ aprovechado de la combustión en la caldera al quemar los residuos, un sistema de control de riego basado en bandeja de demanda formado por un sistema de riego por goteo alimentado por una bomba centrífuga del modelo *Lowara SHE 40-160/40* [35], un sistema de luz artificial con lámparas LED del modelo *ETI* [36] para proporcionar la luz necesaria a las plantas en horas nocturnas para que la producción de cultivo no decaiga, un sistema de humidificación formado por elementos de nebulización aérea impulsados por una bomba del modelo *Multi20 5M* [37] y otro de deshumidificación mediante el deshumidificador *FRAL FD980* que controlan la humedad del interior del invernadero [38].

La importancia de la existencia de estos sistemas de actuación en este sector agrícola hace que el cultivo realice el proceso de crecimiento y producción más eficiente ya que se consiguen unas condiciones climatológicas óptimas y un mayor ahorro energético ofreciendo también la posibilidad de reducir el uso de productos químicos para la protección del cultivo y a su vez reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A continuación, se presentan los sistemas de control de la planta.

2.3.1 Ventilación natural.

La ventilación natural juega un papel muy importante en el control climático de la totalidad de los cultivos bajo plástico. Por lo tanto, un buen diseño en el sistema de ventilación contribuye a las transferencias de calor entre el interior y el exterior del invernadero

Entre las ventajas de los invernaderos tipo parral o Almería no se encuentra una ventilación natural eficiente. Este inconveniente se debe a la poca fluidez del aire por el interior del invernadero, por la instalación de mallas antiinsectos en las ventanas [39] y a la dificultad de instalación de ventanas cenitales en la parte superior. En este tipo de invernaderos y con las imposiciones anteriormente citadas se crea en el interior del invernadero unos contrastes de temperatura y humedad importantes perjudicando al microclima que se pretende controlar en el interior. Los contrastes son notables en las zonas perimetrales con respecto a las zonas interiores ya que se puede llegar a encontrar una diferencia importante de temperatura superior en el centro del invernadero con respecto a esas áreas perimetrales. En el apartado de ventilación natural de invernaderos se pueden encontrar dos tipos de ventilación, la ventilación lateral y la cenital.

El tipo de ventilación más usado en los invernaderos tipo Almería es la ventilación lateral con bandas deslizantes ya que es el método más económico. Este tipo de ventilación consta en dejar un extremo de la banda de plástico suelta entre dos mallas de alambre y mediante poleas y cuerdas previamente atadas a la parte libre de la banda de plástico realizar la apertura o cierre de esta dejando un canal de aire entrante y saliente desde el exterior al interior. Una variante de este tipo de ventilación natural es la incorporación de un sistema de elevación y bajada mediante medios mecánicos ya sea con un motor electrónico de forma automática para el hombre o una manivela de forma manual.

La ventilación lateral en la planta se sitúa en la zona perimetral del invernadero ofreciendo a este una refrigeración por las caras norte y sur mientras que la ventilación cenital se sitúa en la parte superior del invernadero y tiene su apertura en dirección oeste.

El sistema de actuación empleado en el invernadero de la instalación de la Fundación Cajamar es la instalación de motores eléctricos encargados de realizar la elevación y descenso de la banda de forma automática (Ver figura 2.18)



Figura 2.18 Ventanas laterales deslizantes con motor [13]

El actuador empleado para la elevación y bajada de la banda de plástico es un motor de inducción asíncrono de 3 fases de 4 poleas del fabricante *NERI* y del modelo *Serie T*. Este tipo de motores, son motores eléctricos de corriente alterna en el cuál su rotor gira a velocidad diferente a la del campo magnético del estator. (Ver figura 2.19)

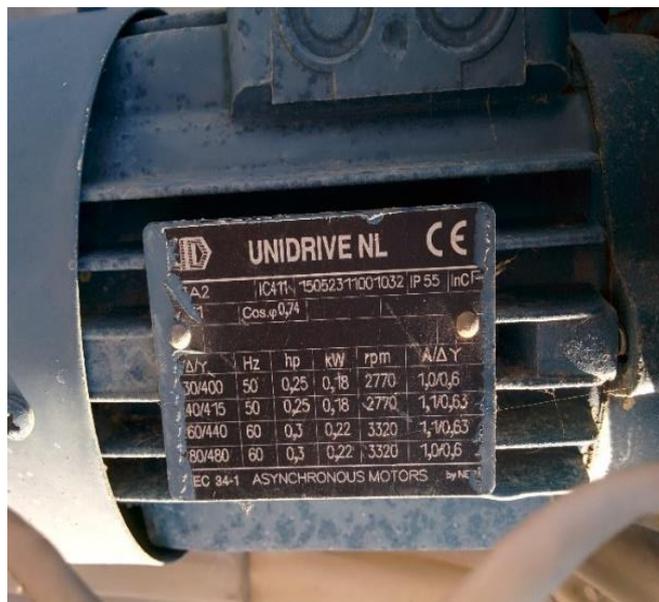


Figura 2.19 Motor inductivo trifásico NERI Serie T

Las principales características del motor de inducción asíncrono de 3 fases *NERI Serie T* son las mostradas en la tabla 2.13:

Modelo	Unidad de medida	Power (Kw /hp)	rpm	Rendimiento/eficiencia (%)	Factor de potencia
NERI Serie T	W, hp, rpm	0.37/0.50	1370	63.8	0.84

Tabla 2.13 Características técnicas del motor NERI Serie T

El otro tipo de ventilación natural empleado es la ventilación cenital. Este tipo de ventilación se produce por la colocación de ventanas en la superficie superior de la estructura del invernadero. Como en la ventilación lateral, se tienen varios tipos de ventilación cenital, ya sea por bandas deslizantes enrollables en el techo del invernadero las cuales se hacen coincidir con el pasillo de este para evitar la entrada de agua en días lluviosos, ventanas enrollables en la parte superior de la estructura del invernadero o por ventanas cenitales fijas y abatibles como es el caso de las que se utilizan en el invernadero de la instalación de la Fundación Cajamar (Ver figura 2.20)

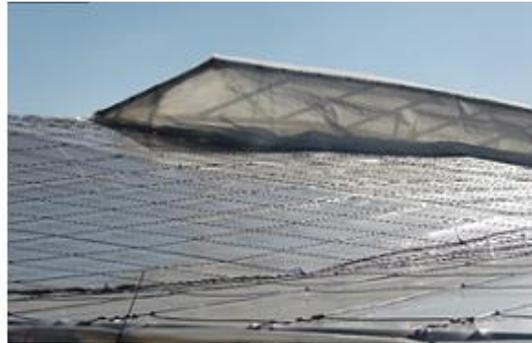


Figura 2.20 Ventanas cenitales abatibles [13]

El actuador empleado para el ascenso y descenso de la ventana cenital es el motor de inducción asíncrono de 3 fases y 4 poleas del mismo modelo usado en las bandas laterales, fabricante *NERI* y del modelo *Series T*.

2.3.2 Sistema calefacción Biomasa.

Una variable más a contemplar en este proceso es la temperatura, que juega un papel fundamental en la vida de no solo las plantas sino también de los seres vivos. Para mantener la temperatura dentro de los invernaderos se encuentran los sistemas de calefacción que se han ido incorporando a las nuevas instalaciones para evitar que los cultivos sufran las consecuencias de grandes variaciones de temperatura y evitar que estos contrastes tan altos repercutan en el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos. Hay dos tipos predominantes de calefacción dentro del ámbito de la industria de la agricultura, uno es el circuito de calefacción de aire caliente y el otro es la circulación de agua caliente. El sistema de calefacción usado en el invernadero instalado en la Fundación Cajamar es el sistema de circulación de agua caliente con una caldera de biomasa del modelo *Linea Missouri* (Ver figura 2.21).

Este tipo de calefacción biomasa produce calor a través de la combustión de biomasa sólida en una caldera alimentada en este caso por pellets y de una serie de elementos y dispositivos que contribuyen a la circulación del agua caliente por un circuito interior del invernadero manteniendo la temperatura deseada dentro de este. Los elementos que componen este tipo de calderas son los siguientes:

- Depósito o cesta de combustible.
- Pellets.
- Equipo de quemador y caldera.
- Circuito de tuberías de circulación.
- Bombas de impulsión.
- Vasos de expansión.
- Dispositivos de seguridad (termostatos, válvulas de seguridad, válvulas 3 vías...).

Las principales características de la caldera *Linea Missouri* son las mostradas en la tabla 2.14:

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Presión máxima	Depósito
Linea Missouri 150 kW	Kw, kcal/h, bar	150.000 kcal/h	3 bar	300 l

Tabla 2.14 Características técnicas de la caldera biomasa Linea Missouri



Figura 2.21 Caldera Biomasa Missouri 150 KW [40]

2.3.3 Sistema de enriquecimiento de CO₂

Las hortalizas utilizan el CO₂ o dióxido de carbono junto con el agua y la luz para sintetizar compuestos orgánicos mediante una serie de reacciones que forman la fotosíntesis. Si alguna de estas variables, la luz, el agua o el CO₂ se encuentran a niveles inferiores la una de otra, esta actuará como un factor limitante en la acción de la fotosíntesis. Los niveles de CO₂ en el interior de los invernaderos varían dependiendo de la incidencia de la luz sobre estos, es decir, según en el momento del día. Por la mañana los niveles de CO₂ son altos por la respiración nocturna de los cultivos pero la incidencia del sol sobre ellos es demasiado baja por lo que no sería recomendable actuar con la inyección de CO₂. En cambio con el avance del día, la incidencia de la luz sobre los cultivos va aumentando y disminuyendo a su vez la cantidad de CO₂ existente en el recinto.

La concentración de CO₂ actualmente en la atmósfera libre es de aproximadamente 300 o 350 PPM (partes por millón). Para que el gas se encuentre disponible para los cultivos debe encontrarse entre 100 y 2500 PPM [41].

Los sistemas de enriquecimiento de CO₂ más habituales en la industria hortícola son: sistemas para utilizar gases de la combustión en la instalación de calefacción, uso de generadores de CO₂ e inyección de CO₂ almacenado en bombonas. El sistema instalado para la aportación de CO₂ al invernadero de la estación experimental de la Fundación Cajamar, es el sistema de reutilización de gases de la combustión del sistema de calefacción biomasa patentado por la Universidad de Almería (Ver figura 2.22).

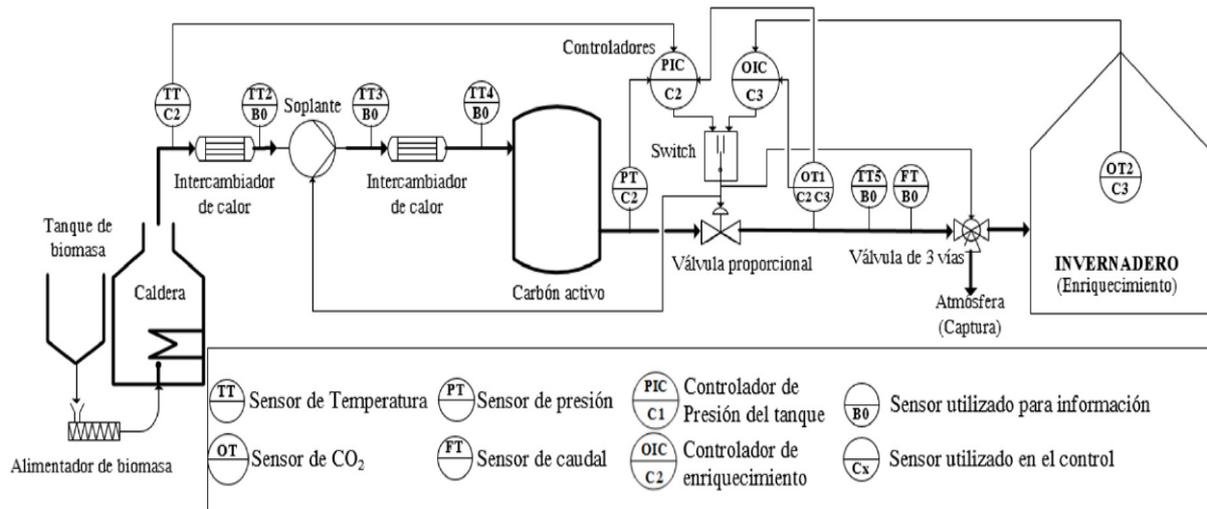


Figura 2.22 Sistema de enriquecimiento de CO₂. [40]

Para la reutilización de los gases de la combustión de la caldera de biomasa se usa un depósito de almacenamiento de CO₂ (Ver figura 2.23) donde el CO₂ generado se almacena para su uso durante el proceso de fotosíntesis diurna. Los gases de combustión generados son almacenados en el depósito por la acción de una soplante que traslada el CO₂ desde la salida de humos de la caldera biomasa hasta el depósito de carbono activo situado en la parte exterior del invernadero (Ver figura 2.23).



Figura 2.23 Depósito de almacenamiento de CO₂ [40]

El sistema de enriquecimiento de CO₂ consta también de una válvula de tres vías (Ver Figura 2.24), encargada de dar camino al CO₂ al interior del invernadero o expulsarlo al exterior dependiendo de las necesidades de control impuestas en la planta. El CO₂ se libera en el interior del invernadero con el objetivo de aumentar la producción. Para introducir el CO₂ en el interior del invernadero, el sistema cuenta con tuberías que dan una distribución homogénea al reparto del dióxido de carbono. Con este control de aportación de CO₂ se consigue un aumento en la producción de cultivo así como disminuir los gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera.



Figura 2.24 Válvula mezcladora de 3 vías [13]

2.3.4 Sistema calefacción por aire.

Otro sistema para mantener el control de la temperatura dentro del invernadero es el sistema de calefacción por aire caliente o generadores aerotérmicos. Estos generadores aerotérmicos son sistemas generadores de aire caliente los cuales pueden generar este flujo de aire de varias formas, aunque siempre se basan en la unión de generadores de aire caliente con dispositivos de ventilación. Los tipos de calefacción aerotérmica existentes en el mercado de la industria hortícola son: generadores de aire caliente de generación directa, generador de aire caliente de generación indirecta, generadores eléctricos de aire caliente, generadores de aire caliente por combustión de gas y generadores de aire caliente por infrarrojos.

El sistema de generador de aire empleado en el invernadero de la Fundación Cajamar es el generador de aire caliente por combustión de gas del modelo *MASTER BLP* (Ver figura 2.25). Su funcionamiento se basa en generar un aumento de temperatura en el flujo de aire que desprende desde su salida mediante la combustión de gases. Para realizar la circulación del aire caliente homogénea por toda la superficie cultivada cuenta con el apoyo de un ventilador incluido en el generador.



Figura 2.25 Generador aerotérmico Master BLP [33]

Su funcionamiento es básico, el aire del ambiente se introduce en el generador por la parte trasera y fluye por este. Un quemador por combustión de gases hace que aumente su temperatura por encima de la temperatura ambiente expulsándolo por el extremo opuesto haciendo que el interior del invernadero consiga tener un aumento de temperatura. La estructura de funcionamiento queda expuesta en la Figura 2.26.



Figura 2.26 Esquema de funcionamiento de generador aerotérmico [33]

Este tipo de calefacción juega un papel muy decisivo en ambientes con grandes cambios de temperatura ya que son elementos capaces de crear un circuito de aire caliente en tiempo reducido para evitar así que se produzcan heladas en las plantas y por consiguiente que se sufran pérdidas en las instalaciones hortícolas. Las principales características del generador aerotérmico son las mostradas en la tabla 2.15:

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Presión máxima
Master	Kw, bar	95 Kw	1.5 bar

Tabla 2.15 Características técnicas del generador aerotérmico Master

2.3.5 Sistema de Riego.

Otro aspecto fundamental en la agricultura para el desarrollo y producción de las hortalizas es la necesidad de agua. Mediante un sistema de riego se le aplica una cantidad de agua al suelo que permite a la planta tener un grado de humedad necesaria para realizar todas sus funciones vitales absorbiendo el agua que usará a través de sus raíces. Una cuestión siempre presente es la cantidad de veces que se debe aplicar el riego. Esta respuesta podría responderse comentando varios factores que influyen en las características de los suelos como son: la textura, la hora del día, la temperatura del ambiente, la edad y crecimiento de la planta [42]. Dentro de los sistemas de riego, se pueden diferenciar dos grupos, los riegos por gravedad (por manta o por surcos) y los riegos por presión (por aspersores, nebulización y el más utilizado en el cultivo bajo plástico, el riego por goteo).

El sistema usado en el invernadero de la Fundación Cajamar y en la mayoría de los invernaderos de la provincia de Almería, es el sistema de riego por goteo (Ver figura 2.27) Este es un sistema que transporta el agua por presión por medio de una red tuberías hasta los cultivos donde se entrega en forma de gotas periódicas al suelo para el aprovechamiento de esta por las plantas.



Figura 2.27 Sistema de riego por goteo [13]

El sistema de riego por goteo instalado en la planta está formado por los siguientes elementos.

- Fuente de agua principal.
- Cabezal de riego. Es el encargado de aspirar, filtrar e impulsar el agua desde la fuente de agua principal a la red de tuberías de la instalación. Este cabezal suele estar formado por una motobomba ya sea eléctrica o de combustión.
- Red de distribución. Es la red de tuberías que transportan el agua desde la fuente de agua hasta los cultivos. Tuberías principales de PVC y ramales que salen de estas son las que transportan el agua hasta el gotero.
- Equipos de regulación y control. Son los dispositivos encargados del control y regulación del sistema de riego. Se encuentran los manómetros, válvulas de seguridad o válvulas volumétricas.

Todo el sistema de absorción e impulsión de agua de la instalación de la Fundación Cajamar se encuentra centralizado en un espacio exterior al invernadero en las mismas instalaciones de la estación experimental. Desde esa zona centralizada, el agua se expande por la red de tuberías en dirección al invernadero de cultivo situado a una distancia de unos 300 metros aproximadamente. La instalación cuenta con una fuente principal de agua en forma de depósito desde donde se absorbe el agua necesaria para el regadío de los cultivos a través de un cabezal principal. Esta agua absorbida desde la balsa se reparte por la red de tuberías gracias a una bomba centrífuga del modelo *Lowara SHE 40-160/40* (Ver figura 2.28) hasta el invernadero y por las ramificaciones de las tuberías llegan hasta el gotero para finalmente a través de este llegar al cultivo. Las especificaciones de la bomba centrífuga *Lowara SHE* se reflejan en la siguiente tabla 2.16:

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Caudal máximo
Lowara SHE 40-160/40	l/min – m ³ /h	4.5 Kw	38 m ³ /h

Tabla 2.16 Características técnicas de la bomba centrífuga Lowara SHE

El invernadero cuenta con la siguiente distribución en el sistema de riego por goteo; 18 líneas de tubería en la totalidad de la superficie, una por cada pasillo o línea. Cada línea de riego cuenta con 37 goteros haciendo así un total de 660 goteros para el riego del cultivo. El caudal aproximado de riego que se puede obtener en la superficie total del invernadero ha sido calculado y está en torno a los 333 [l/h].



Figura 2.28 Bomba centrífuga Lowara SHE

2.3.6 Sistema de Humidificación.

Una temperatura elevada y una baja humedad en el interior del invernadero hacen que el proceso fotosintético de los cultivos se frene y en consecuencia su desarrollo y producción decaiga. En los meses de verano en la provincia de Almería se promedia una temperatura de 23.8 °C y una humedad en torno al 60% (Ver Figura 2.29) [43].

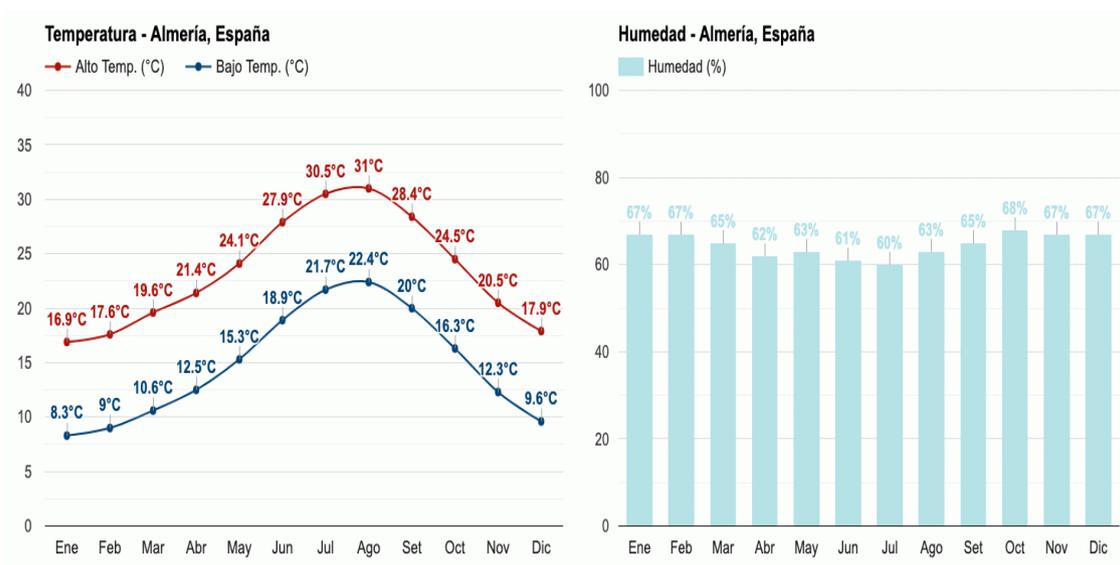


Figura 2.29 Temperatura (a) y humedad (b) en Almería [43].

Cuando la temperatura es elevada en los meses de verano y coincidiendo con los picos de humedad baja entran en juego los sistemas de humidificación. Estos sistemas tienen la función de evaporar el agua del interior del invernadero, llevando así a unas condiciones de aumento de humedad y bajada de la temperatura. El cambio de fase de líquido a vapor requiere energía que se extrae del aire del invernadero, enfriándolo y aumentando su contenido de humedad.

Hay varios sistemas de humidificación usados en los invernaderos de la provincia de Almería; los paneles evaporadores y los sistemas de nebulización siendo este último el usado en el invernadero de la Fundación Cajamar (Ver figura 2.30).



Figura 2.30 Sistema de humidificación

Un equipo de nebulización se basa en la pulverización de agua en forma de pequeñas gotas con el objetivo de incrementar la superficie de agua en contacto con el aire y así disminuir la temperatura y aumentar la humedad. Este sistema dispone de:

- Equipo de presurización: electrobomba para suministrar el caudal del modelo *Espa Mutli20 5M* encargada de impulsar el agua por toda la red de distribución (Ver figura 2.31).
- Cabezal de filtrado, encargado del filtrado del agua en su captura.
- Redes de distribución.
- Boquillas de pulverización, encargadas de pulverizar el agua



Figura 2.31 Bomba de humidificación

Las especificaciones de la bomba *Multi20 5M* se reflejan en la siguiente tabla 2.17.

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Caudal máximo
Espa Multi20 -5M	l/min	1.4 Kw	72 l/min

Tabla 2.17 Características técnicas de la bomba *Espa Multi20 5M*

2.3.7 Sistema de Iluminación

Como se ha comentado anteriormente la luminosidad junto a la temperatura y la humedad son las variables más determinantes en el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Su influencia en los cultivos está basada en los momentos de la floración de las hortalizas y concretamente en su crecimiento. Las plantas consumen luz en forma de fotones (partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética) para poder realizar la fotosíntesis. La cantidad y proporción entre las varias longitudes de onda de la luz determinan de qué modo y con qué velocidad las plantas crecen y dan frutos. Las tecnologías modernas de luz artificial imitan a la perfección la luz diaria haciendo constantes unas condiciones óptimas para cada planta en el interior del invernadero.

El sistema de iluminación artificial empleado en el invernadero de la estación experimental de “Las Palmerillas” consta de una serie de lámparas LED del modelo *ETI* incorporando el driver de control *LDAC 4900-I* alimentadas eléctricamente y situadas en la parte superior de cultivo (Ver figura 2.32).

Este tipo de iluminación interior tiene una configuración de dos colores, azul (449-461 nm) y rojo (739 nm) para la aportación de luz a los cultivos en horas nocturnas.



Figura 2.32 Sistema de iluminación artificial

El sistema de iluminación LED artificial entra en acción en momentos de baja luminosidad realizando la sustitución de la luz necesaria por las plantas para realizar todo su proceso de desarrollo. Este tipo de sistemas de iluminación era un gasto importante pero con las mejoras y eficiencia de la tecnología LED, no solo contribuye a un ahorro energético sino también económico.

Las especificaciones de las lámparas LED del modelo *ETI* son las mostradas en la tabla 2.18:

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Rango de trabajo
ETI	W	300 W	-40 °C >ta> 50 °C

Tabla 2.18 Características técnicas de lámpara ETI

2.3.8 Sistema de Deshumidificación.

Unas condiciones meteorológicas donde la humedad relativa sea elevada, se consideran como un aspecto negativo no solo en el desarrollo y crecimiento sino que aumentará las posibilidades de incrementar las plagas de hongos conllevando a una situación adversa a los cultivos debido a que disminuirá su absorción de nutrientes. Varios son los sistemas que puede tener la solución para disminuir la humedad relativa en el interior del invernadero [44].

El más rápido y habitual es la ventilación natural o forzada, abriendo las ventanas del invernadero o activando los dispositivos de apoyo para dejar fluir el aire por el interior de la superficie disminuyendo así la humedad interior. Otro sistema de actuación contra la humedad relativa elevada es el uso de sistemas de calefacción los cuales actúan elevando la temperatura del interior del invernadero y así disminuyendo la humedad relativa del interior. Este proceso también cuenta con el inconveniente que conlleva el aumento de temperatura dentro del invernadero y desviar así de las condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por último se pueden usar sistemas deshumidificantes ya sean por sistemas secantes o por condensación. En el caso de la estación experimental Fundación Cajamar, se cuenta con un sistema de deshumidificación por condensación mediante una deshumidificadora de la marca *FRAL*, modelo *FD980* (Ver figura 2.33).



Figura 2.33 Sistema deshumidificador

Este tipo de deshumidificadores extraen la humedad del aire mediante su enfriamiento por debajo del punto de rocío, provocando su condensación. Estos sistemas cuentan con un ventilador, un compresor, un condensador, un filtro, un regulador y un evaporador (Ver figura 2.37)-

Las especificaciones de la deshumidificadora *FRAL FD980* son las mostradas en la tabla 2.19:

Modelo	Unidad de medida	Potencia máxima	Capacidad máxima
FRAL FD980	l/h	11200 W	980 l/h

Tabla 2.19 Características técnicas del deshumidificador *FRAL FD980*

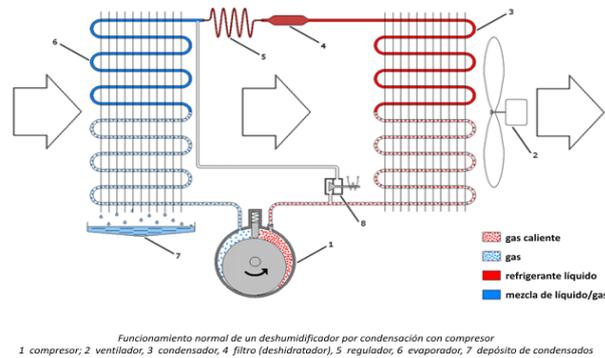


Figura 2.34 Elementos de un sistema de deshumidificación por condensación [45]

2.4 Descripción de equipos de adquisición y comunicación.

Los dispositivos usados para la interacción entre las lecturas de sensores y el sistema SCADA son los Compact FieldPoints de National Instruments. Los sensores encargados de la adquisición de las variables físicas estarán conectados a bloques o módulos de conexión que serán gestionados por tarjetas configurables de Entrada/Salida (E/S) insertadas en el chasis junto a los controladores de los FieldPoints los cuales están conectados vía Ethernet a un router wifi comunicado con el ordenador donde se encuentra el sistema de supervisión del operario. El sistema de adquisición y comunicación de datos instalados en el invernadero de la estación experimental “Las Palmerillas” está formado por: tres unidades de Compact FieldPoints y un CompactRio de NI ambos con módulos de E/S, un router wifi y una red de sensores.

2.4.1 Compact FieldPoint®

Compact FieldPoint es un Controlador de Automatización Programable (PAC) (del inglés Programmable Automation Controller) que emplea una tecnología industrial orientada al control automatizado, al diseño de prototipos y a la medición de variables físicas. El controlador de automatización programable engloba un conjunto formado por un controlador o CPU, módulos de E/S, y uno o múltiples sistemas de comunicación. Este tipo de controladores combina la fiabilidad de control de un autómat (Controlador Lógico Programable o PLC siglas en inglés de Programmable Logic Controller) junto a la flexibilidad de monitorización y cálculo de un computador [46].

Los Compact Fieldpoint instalados en la planta, están formados por dos controladores distintos, el cFP-1804 (Ver figura 2.35b) y el controlador cFP-2020 (Ver figura 2.35a).

El modelo cFP-1804 de National Instruments conecta cuatro módulos compactos de E/S a una red Ethernet o a un puerto serie RS232. Con velocidades de comunicación de datos de hasta 100 Mb/s. Está compuesto por un puerto Ethernet 10/100 MB/s, cuatro puertos RS-232, una fuente de alimentación para entradas, un interruptor configurable DIP (Dual In-line Package), un botón de reset e indicadores leds identificativos.

El Cfp-2020 está compuesto por un puerto Ethernet 10/100 MB/s, cuatro puertos RS-232, , una fuente de alimentación para entradas, un terminal de conexión para entradas y salidas digitales, un interruptor configurable DIP, un botón de reset e indicadores leds identificativos. Incorpora también una memoria flash extraíble con capacidad de hasta 512 MB que permite el guardado de configuraciones.

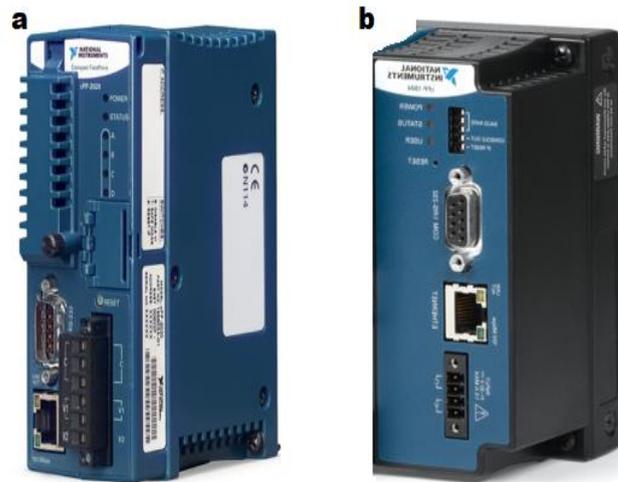


Figura 2.35 Controladores cFP-1804 (a) y cFP-2020 (b) [47]

En resumen, las especificaciones de los controladores se muestran en las siguientes tablas 2.20 y 2.21:

Modelo	E/S	Puertos RS-232	Velocidad de comunicación
cFP-1804	4 puertos de E/S	4 puertos	10/100 MB/s

Tabla 2.20 Especificaciones técnicas cFP-1804

Modelo	Frecuencia	Memoria RAM	E/S	Puertos RS-232	Velocidad de comunicación
cFP-2020	75 MHz	32 MB	8 puertos de E/S	4 Puertos	10/100 MB/s

Tabla 2.21 Especificaciones técnicas del controlador cFP-2020

A parte de los controladores, los Fieldpoints cuentan con módulos o bloque de conectores integrados (cFP-CB-1) como los mostrados en la figura 2.36a, donde se produce la conexión física de los sensores y el sistema de adquisición de datos. La conexión física se produce por medio de cable de cobre que será introducido en una regleta o terminal de tornillo del módulo uniendo el canal del módulo con la salida del dispositivo sensorial. Las especificaciones de los bloques integrados cFP-CB-1 se muestran en figura 2.36b.

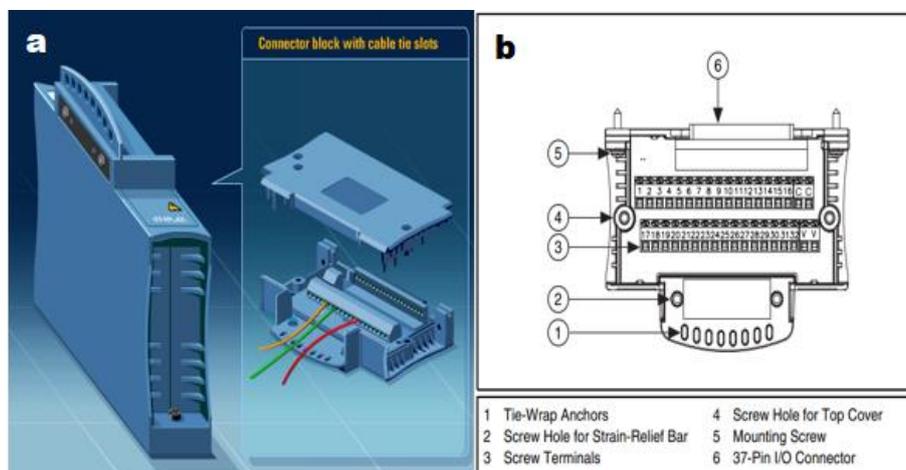


Figura 2.36 Bloque de conectores integrados cFP-CB-1(a) y especificaciones de los bloques integrados (b) [48]

Estos módulos de conexión son gestionados por los bloques de E/S analógicas o digitales como los mostrados en la figura (Ver figura 2.40). Estos módulos industriales de E/S, filtran, calibran, y miden las señales del sensor. Los módulos de entrada y salida usados en los Fieldpoints de la plana son: *cFP-AI-100*, *cFP-AI-110*, *cFP-AI-111*, *cFP-AI-112*, *cFP-AO-200*, *cFP-DO-400*, *cFP-DO-403*, *cFP-RTD-124*, *cFP-RTD-502*. Las características de estos módulos de E/S serán presentados en el Anexo I Módulos de E/S.

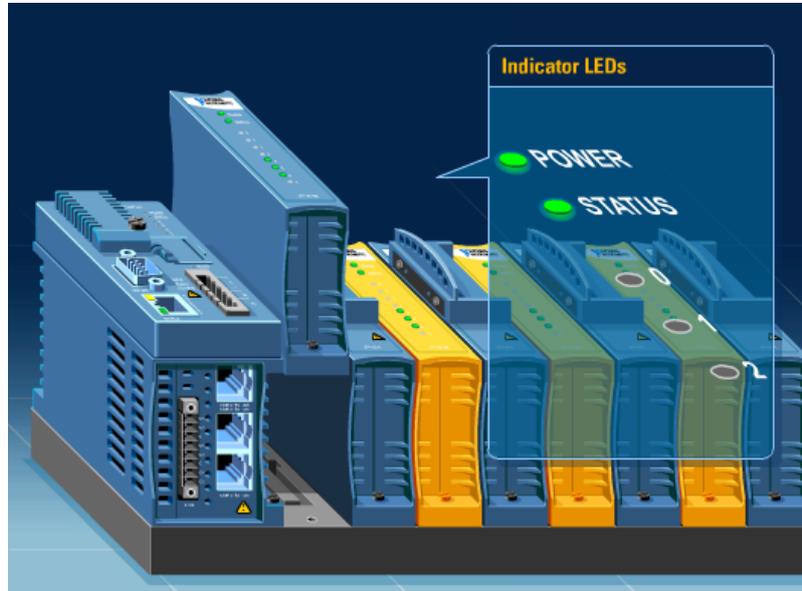


Figura 2.37 Módulos de entrada y salidas [48]



Figura 2.38 Compact Fieldpoints 1 y 2 instalados en el invernadero

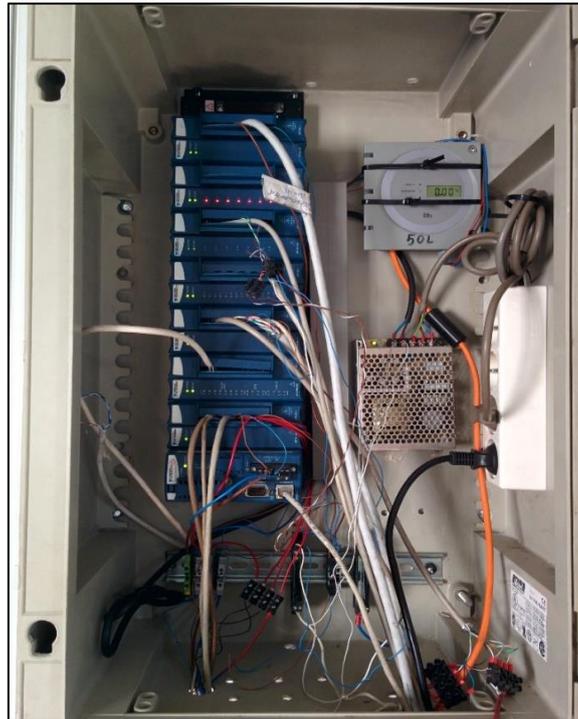


Figura 2.39 Compact Fieldpoints 3 de instalado en la caseta

2.4.2 CompactRio®

El Controlador de Automatización Programable (PAC) CompactRio de National Instruments (Ver figura 2.40) es un sistema reconfigurable de control y adquisición de datos. El sistema une una arquitectura empotrada con un tamaño pequeño. Los módulos industriales cuentan con un formato pequeño de E/S incluido y una conectividad directa a gran variedad de sensores. El CompactRio de National Instruments está basado en la tecnología FPGA (del inglés Field-Programmable Gate Array) de E/S reconfigurable. Esta tecnología contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser programada en el momento mediante un lenguaje de programación.



Figura 2.40 CompactRio de NI [47]

El modelo de CompactRio usado en la estación experimental de la Fundación Cajamar “Las palmerillas” es el CompactRio cRio-9040. Las especificaciones del controlador se muestran en la siguiente tabla 2.22:

Modelo	E/S	Procesador	Frecuencia de CPU	Velocidad comunicación
cRio-4090	4 puertos de E/S	Intel Atom E3930	1.3 GHz (base), 1.8 GHz	10 Mb/s, 100 Mb/s

Tabla 2.22 Especificaciones técnicas cRio-9040

Esta conexión se produce mediante cable UTP (Unshielded Twisted Pair) o cable de par trenzado que conecta desde el puerto Ethernet RJ45 hasta el puerto del router wifi los Compact Fieldpoints. La conexión establecida sigue el protocolo Ethernet/IP el cual es un protocolo de red para aplicaciones de automatización industrial basado en los protocolos estándar TCP/IP usando hardware y software Ethernet para establecer un nivel de área para configurar, acceder y controlar dispositivos.

La comunicación con el sistema SCADA situado en el ordenador se realiza mediante tecnología Wireless o Wifi utilizando ondas de radio. Debido a la gran distancia entre los enlaces que transmiten la comunicación, se instaló una antena USB wifi al ordenador de la instalación con el objetivo final de evitar pérdidas de conexión con los sistemas de la planta y así establecer una conexión continua y fija.

3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA SCADA.

En el capítulo 3 se desarrollan las especificaciones técnicas y de diseño que el sistema SCADA debe contemplar para un buen entendimiento y desarrollo. Incluyendo también en el capítulo la normativa vigente empleada en el proyecto desarrollado en la estación experimental de la Fundación Cajamar “Las Palmerillas”.

3.1 Especificaciones técnicas.

El sistema SCADA desarrollado para la estación experimental de la Fundación Cajamar “Las Palmerillas” deberá cumplir una serie de requisitos y especificaciones descritas a continuación.

- La plataforma y entorno de programación *NI LabVIEW®* (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de National Instruments [50] será el software utilizado para el diseño y desarrollo del sistema SCADA. El grupo ARM de la universidad de Almería cuenta con licencia de soporte para dicho software. (Ver figura 3.1).

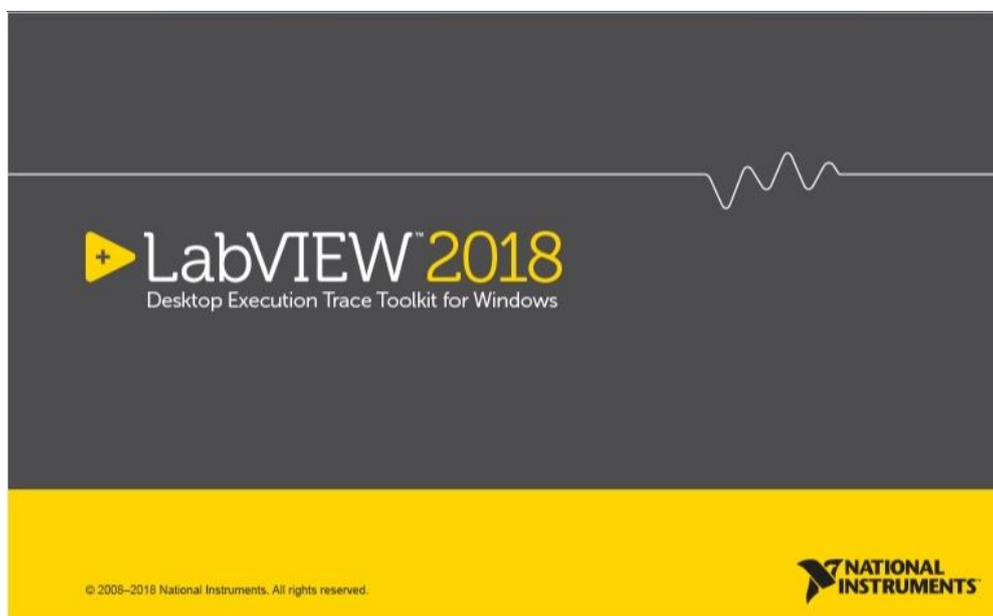


Figura 3.1 Licencia software NI LabVIEW [50]

- La versión utilizada para la programación de Labview será *NI LabVIEW 2018®*.
- Para la configuración de la comunicación de todos los dispositivos y elementos de captación de datos se usará el software *NI MAX* de National Instruments que generará el archivo correspondiente a dicha configuración.
- La herramienta debe tener funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema operativo *Windows* sobre cualquier PC estándar.
- Control de accesos de usuario.
- Creación de un sistema de alarmas configurable.
- Creación de nuevo menú análisis para registro de alarmas y gráficas.
- Creación de nuevos subsistemas de control por el operario con permisos a través de un interruptor.
- Representación de histórico de alarmas.
- Representación gráfica de variables.

3.2 Especificaciones generales de diseño del Sistema SCADA.

En el diseño de la interfaz del sistema SCADA se ha tenido en cuenta tanto la normativa específica para el desarrollo de entornos de control hombre-máquina así como las diferentes necesidades especificadas por los operarios y técnicos que van a supervisar el sistema en la estación experimental de “Las Palmerillas”.

- Cumplimiento de normativa en trabajos de desarrollo, adquisición y control de datos.
- Cumplimiento de normativa para trabajos de visualización de datos por operarios en pantallas.
- Mejora y optimización del sinóptico anterior.
- El sistema SCADA debe realizar el proceso de control automática, manual y ensayos.
- El operario debe poder visualizar en pantalla principal todas las variables controladas por el sistema SCADA.
- Será desarrollado un sistema de control de acceso y privilegios para usuarios para evitar actuaciones no deseadas por personal de la planta.
- Implementación de pantallas o submenús para la configuración de la planta por el operario.
- Separación por pantallas de la forma de funcionamiento manual y funcionamiento automático.
- El sistema SCADA podrá realizar de forma programada por el usuario, ensayos de los distintos actuadores que completan el sistema obteniendo una serie de datos de visualización para el operario.
- Se desarrollará un sistema de visualización gráfica para los valores de las variables controladas en la instalación.
- Posibilidad de añadir y/o suprimir subsistemas en la planta.
- Se desarrollará un sistema de alarmas configurables visibles en el sinóptico principal.
- El sistema registrará todas las variables controladas en el proceso y las guardará de forma automática en archivos con formato “.txt”.
- El sistema registrará los registros de alarmas activadas e inicios de sesión de administrador en el sistema y guardará dicho registro en archivos “.txt”.

3.3 Normativa a cumplir.

El sistema de supervisión, control y adquisición de datos instalado en la Estación Experimental de “Las Palmerillas” sigue el marco y estándares apropiados para el diseño de interfaces hombre-máquina. La normativa empleada se enumera a continuación.

3.3.1 Norma ISO 11064.

El estándar ISO 11064 establece unas recomendaciones y principios para ser aplicados en la ejecución del diseño de plantas de control bajo monitorización de un operario o encargado de planta. Esta norma propone aspectos de propósito general y en el caso particular de aplicación en una sala de control industrial, la ergonomía aparece prioritariamente en forma de ergonomía física.

[\[51\]](#)

3.3.2 Norma ISA S5

La finalidad de esta norma es establecer un medio uniforme de denominación de instrumentos y sistemas de instrumentación usados para obtener medidas y estas, ser controladas. Con esta finalidad, el sistema de designación engloba los símbolos y códigos creando una identificación propia para ellos. [\[52\]](#).

3.3.3 Norma UNE 500520:2003

La norma UNE 500520:2003, actualización de la UNE 500520:2002 con título; redes de estaciones meteorológicas automáticas y criterios de localización de emplazamientos e instalación de sensores y características de adquisición y muestreo de Noviembre 2003, establece un criterio para garantizar la calidad del registro meteorológico adquiriendo datos climatológicos de garantía además de una adecuada instrumentación, unos criterios de mantenimiento de las estaciones meteorológicas automáticas y de calibración de los sensores instalados en las mismas. El objetivo de esta norma es la estructuración de los procedimientos para la calibración y mantenimiento de los equipos de adquisición de datos asegurando en todo momento la calidad de la toma de estos y evitando la incertidumbre de las medidas [\[53\]](#).

3.3.4 Norma ISO 9241

La norma UNE-EN ISO 9241 es la encargada de velar por la calidad en lo que usabilidad y ergonomía se refiere tanto en software como en hardware. En la sección décima de la norma, principios de diálogo, trata el diseño ergonómico para equipos con pantallas de visualización de datos. Esta norma enumera una serie de ideas que pretende servir de guía a la hora de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas que se muestran a continuación. [\[54\]](#)

- La aplicación debe estar adaptada a la tarea para la cual se diseñó; el diálogo con el usuario final debe ser limpio, presentando y exigiendo solamente información necesaria.
- La información al usuario debe ser accesible.
- La aplicación debe poder adaptarse al nivel de capacitación del usuario.
- La aplicación debe ser controlable por el usuario en todo momento.
- Las respuestas de la interfaz deben ser coherentes y legibles al nivel de conocimientos del operario de planta.
- La aplicación puede atender a una serie de fallos y contar con las herramientas de solución automáticas.
- Debe ser clara y sencilla de utilizar por los usuarios.

El camino de la normalización es obtener unas aplicaciones con una interfaz gráfica fácil de utilizar por los usuarios. Teniendo en cuenta lo anterior, se establecen una serie de directrices a la hora de diseñar aplicaciones de visualización para obtener resultados positivos. Los principios básicos de diseño se resumen a continuación [\[55\]](#):

- Diseño simple, orden coherente y un buen etiquetado de los elementos importantes.
- Evitar mostrar datos irrelevantes de forma automática.
- Las indicaciones cuantitativas, deberán realizarse de forma gráfica.
- Usar un estándar de unidades.
- Si es posible, un solo tipo de fuente.
- Los estados binarios, mejor de forma gráfica.
- Definir unas líneas imaginarias en pantalla sobre las cuales se colocarán los elementos.
- Colocar marcos en los objetos relacionados para un mejor contraste.
- Notificar siempre los resultados de cualquier acción de forma clara y legible por el operario.
- Utilizar los colores de forma práctica y sin abusar de ellos.
- Los colores deben ser complemento informativo.

3.3.5 Real Decreto RD 488/1997

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

En el mismo sentido hay que tener en cuenta que en el ámbito de la Unión Europea se han fijado mediante las correspondientes Directivas criterios de carácter general sobre las acciones en materia de seguridad y salud en los centros de trabajo, así como criterios específicos referidos a medidas de protección contra accidentes y situaciones de riesgo.

Concretamente, la Directiva 90/270/CEE, de 29 de mayo, establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas al trabajo con equipos que incluyan pantallas de visualización. Mediante el presente Real Decreto se procede a la transposición al Derecho español del contenido de la Directiva 90/270/CEE, antes mencionada.

Artículo 2. A efectos de este Real Decreto se entenderá por: a) Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado. b) Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provista, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato. c) Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización [\[56\]](#).

3.3.6 Guía GEDIS

La guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control supervisor industrial basado en niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y contenidos. La guía GEDIS puede convertirse en complemento para aquellos ingenieros técnicos que desarrollan interfaces de supervisión mediante los sistemas comerciales denominados de adquisición de datos y control supervisor SCADA.

La guía se estructura en 2 partes. La primera detalla un conjunto de indicadores seleccionados en buena parte de las pautas de diseño de interfaces multimedia que utilizan los ingenieros informáticos y los expertos en interacción persona ordenador. La segunda parte muestra la obtención de medidas cuantitativas de evaluación de los indicadores para la obtención de un valor numérico final que permita al diseñador/usuario valorar las posibles mejoras de la interfaz de supervisión, a la vez que permite la comparación con otras interfaces [\[8\]](#).

3.3.7 Norma ISA 101

El Comité ISA101 establecerá estándares, prácticas recomendadas y/o informes técnicos relacionados con las interfaces hombre-máquina en aplicaciones de fabricación. Esto irá dirigido a los responsables de diseñar, implementar, usar y / o administrar interfaces hombre-máquina en aplicaciones de fabricación [\[7\]](#).

4. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

Los sistemas de Supervisión de Control y Adquisición de Datos (traducción de SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition) permiten el control de cualquier sistema instalado local o remotamente con la ayuda de una interfaz gráfica que comunica al usuario con el sistema.

En el presente capítulo se trata por una parte el diseño de interfaz del sistema de SCADA, mostrando la arquitectura y distribución de pantallas, el uso del color y tipología de texto, los equipos, valores y tablas del diseño así como los accesos, controles y alarmas que son definidos en el sistema. Y por otra parte, se establecerá la configuración de la comunicación necesaria de los elementos que intervienen en el sistema.

4.1 Diseño de la Interfaz

Para el diseño de la interfaz principal del sistema SCADA, se ha seguido las recomendaciones y directrices de la Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión (GEDIS), la cual está orientada a pantallas de salas de control industrial. La primera parte de la guía consiste en la definición de los principales elementos que componen la interfaz del proceso, como son la arquitectura, la navegación, colores, fuentes, simbología hasta llegar por último a las alarmas. Por otro lado, como su especificación no es el punto final de la interfaz, es necesario una organización de las pantallas mientras se definen los elementos o por otro lado, al final cuando la especificación esté realizada en su totalidad, definir las pantallas visibles por el operario [57]

Los elementos más importantes a definir en el diseño de la interfaz son por orden de importancia:

- Arquitectura y navegación.
- Distribución.
- Color y texto.
- Equipos, valores y tablas.
- Acceso y controles.
- Alarmas.

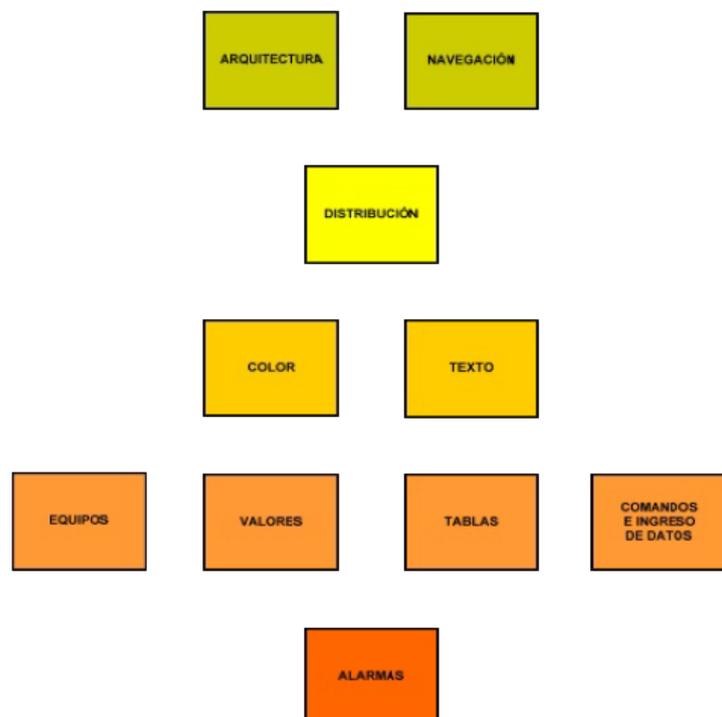


Figura 4.1 Metodología de desarrollo de interfaz gráfica [57]

4.1.1 Arquitectura

En la arquitectura del sistema SCADA se deberá realizar un mapa general de área y subáreas con las que el operario de control contará para interactuar con el sistema así como visualizarlas de manera sencilla. Las principales recomendaciones de la guía GEDIS en relación a la arquitectura del sistema SCADA son las siguientes:

- La arquitectura en forma de mapa debe establecer una organización de la planta.
- La arquitectura jerárquica basada en la planta, área, subárea, equipo, etc., es la más recomendable.
- Es recomendable definir arquitecturas anchas antes que profundas para facilitar al operador el acceso a la información.
- Recomendable que la jerarquía no exceda de cuatro niveles para facilitar la supervisión. [8]

La arquitectura utilizada en el sistema implantado en la Estación Experimental (Ver figura 4.2) es una arquitectura ancha pudiendo obtener un resultado fácil y una rápida navegación a través de los menús dónde el número de capas de la jerarquía es de cuatro, cumpliendo la norma de no superar los cuatro niveles. Los menús principales o primer nivel son el de pantalla principal, configuración, subsistemas y análisis, en segundo nivel se encuentra el control de accesos y todos los subsistemas, el tercer nivel estará formado por la configuración del sistema y los estados de control, ensayo y ensayo PRBS mientras que el último nivel será el formado por los modos de manual, automáticos y ensayo del estado de control.

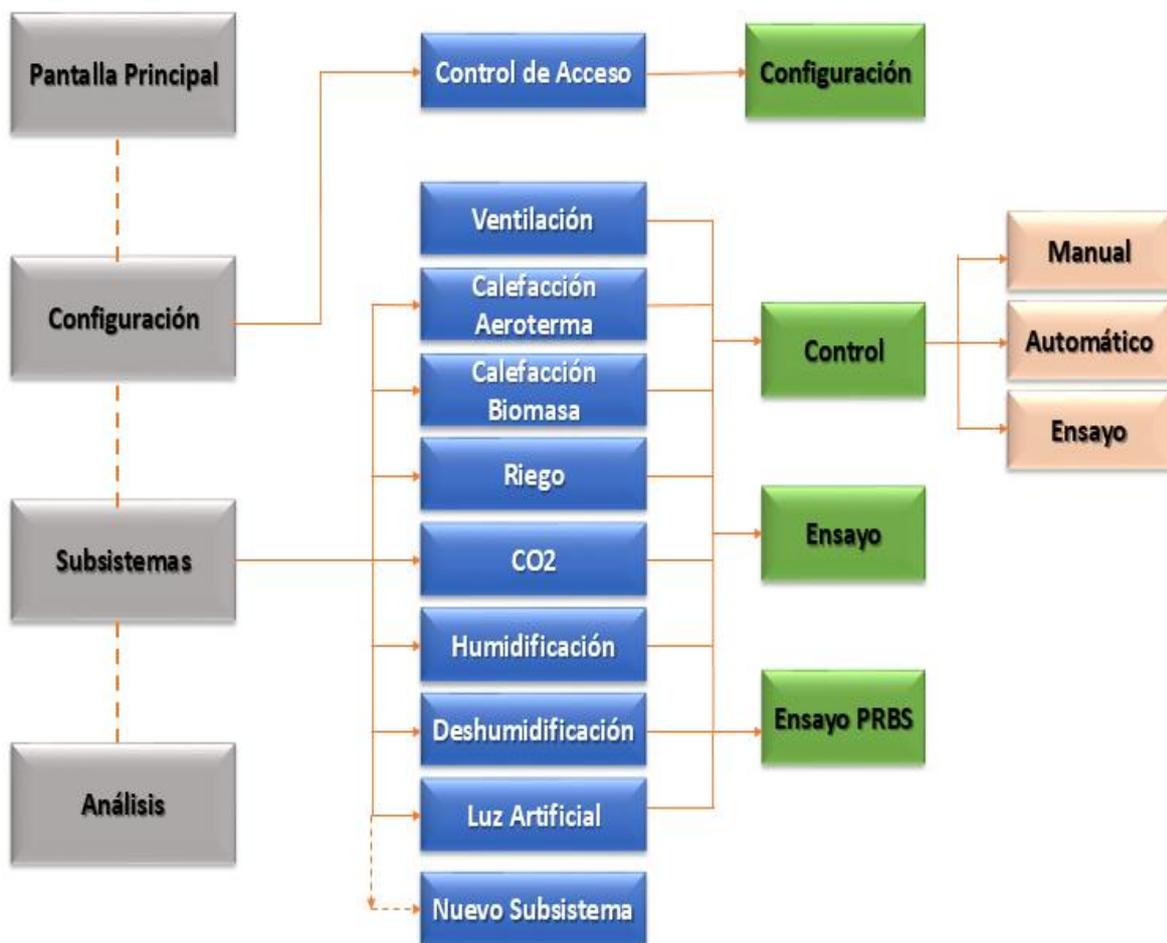


Figura 4.2 Arquitectura de pantallas

A continuación, se presenta una tabla, (Ver tabla 4.1) de diagnóstico de funciones que se realizan en el sistema de control y adquisición de datos.

Función	Pantalla
Visualización de variables	Pantalla principal
Visualización de alarmas	Pantalla principal
Configuración de alarmas	Pantalla configuración
Configuración	Pantalla configuración
Visualización de subsistemas	Pantalla subsistemas
Visualización de gráficas y registro de alarmas	Pantalla análisis
Modificación de variables	Pantalla configuración
Añadir/Suprimir subsistemas	Pantalla configuración
Control de variables	Pantalla subsistemas
Cambios de modo (Manual/Automático/Ensayo)	Pantalla subsistemas

Tabla 4.1 Funciones de cada pantalla

4.1.2 Distribución de pantallas y navegación

En este apartado, se van a definir las metodologías de desarrollo de las plantillas que regirán la interfaz. El primer paso será diseñar una plantilla general para cada una de las pantallas del proceso. En estas plantillas se deberán establecer los siguientes conceptos:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipos de las empresas involucradas.
- Ubicación del menú del sistema.
- Ubicación de las alarmas del proceso.
- Ubicación de los elementos de control.
- Ubicación de los sistemas de procesos [8].

Con la finalidad de llevar a cabo la especificación de la distribución de las pantallas se sugiere las siguientes directrices:

- Considerando el Diagrama de Gutenberg (Ver figura 4.3), el desplazamiento del ojo se dirige de arriba a abajo y de izquierda a derecha. La información más importante pues, debe ir arriba a la izquierda. El centro de la pantalla es también un lugar de alta visibilidad por lo que se colocará zonas de interés.



Figura 4.3 Método de Gutenberg [58]

- Las funciones e informaciones críticas deben tener un lugar fijo en la pantalla.
- La mejor posición para los gráficos es a la izquierda del campo visual.
- La posición de las alarmas debe tener un lugar de alta visibilidad
- Se debe establecer una estructura de rejilla (grid) regular.

Al desarrollar los prototipos de los sinópticos de proceso se debe controlar la densidad de los gráficos, la cual no debe sobrepasar del 50%, para que no se vean muy aglutinados. [8]

Las plantillas definidas en el sistema SCADA son: una plantilla para una pantalla principal (Ver figura 4.4) en la que se muestran el sinóptico general con los datos de los sensores y actuadores que componen el control y la adquisición de datos de la instalación y donde las acciones son de visualización por el operario sin posibilidad de cambios, una plantilla para cada uno de los modos de los subsistemas (Ver figura 4.5, 4.6 y 4.7) de la instalación donde se representa la información relevante así como el control de estos.



Figura 4.4 Plantilla de Pantalla Principal

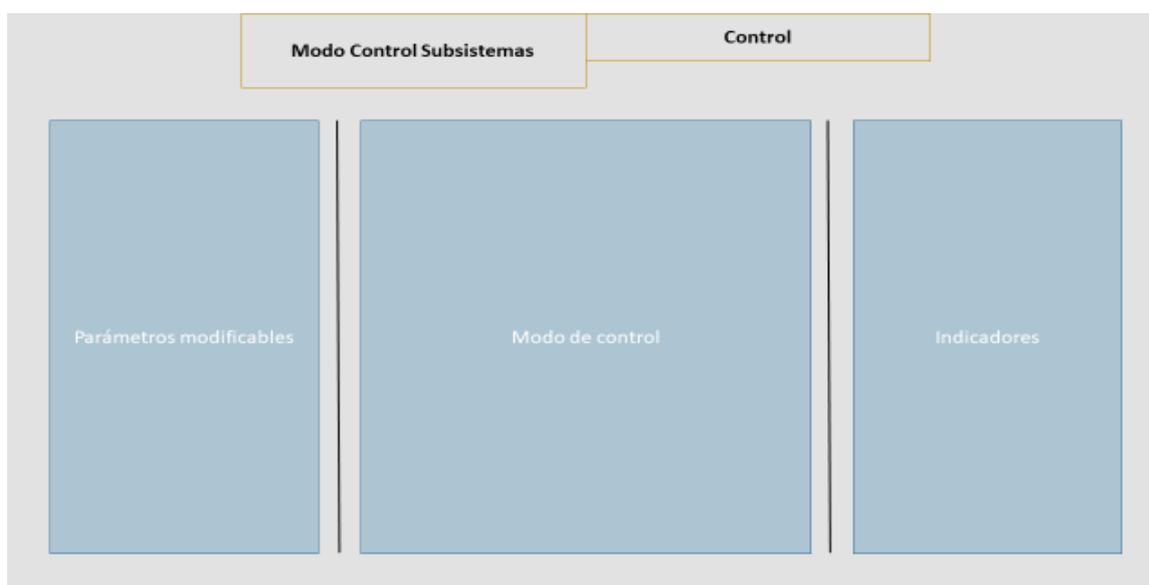


Figura 4.5 Plantilla del modo control de los Subsistemas.

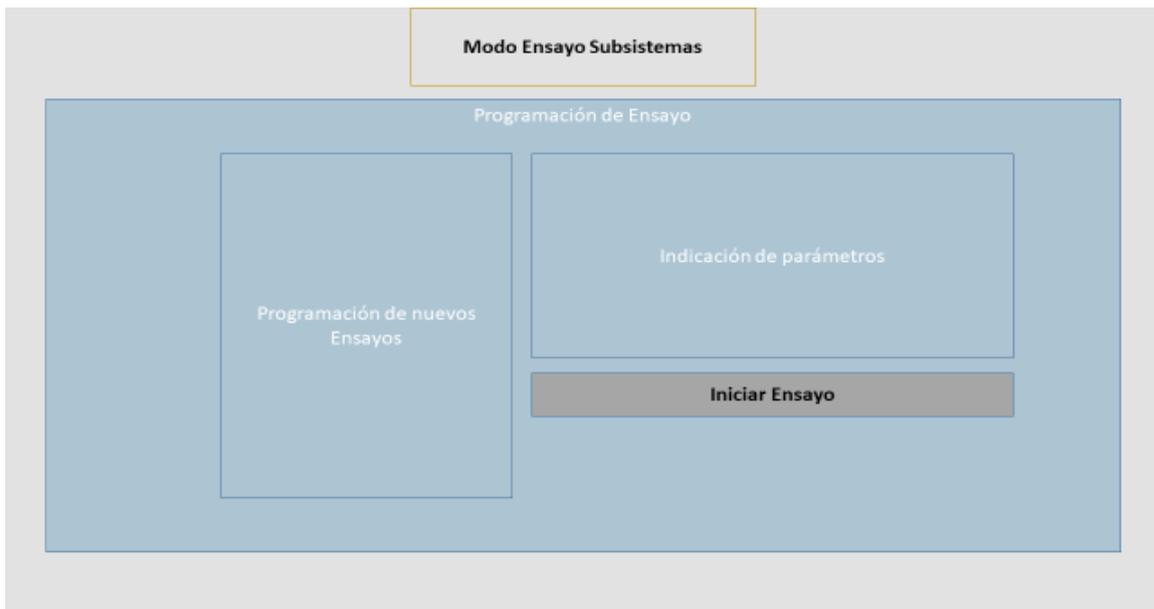


Figura 4.6 Plantilla del modo Ensayo de los Subsistemas.

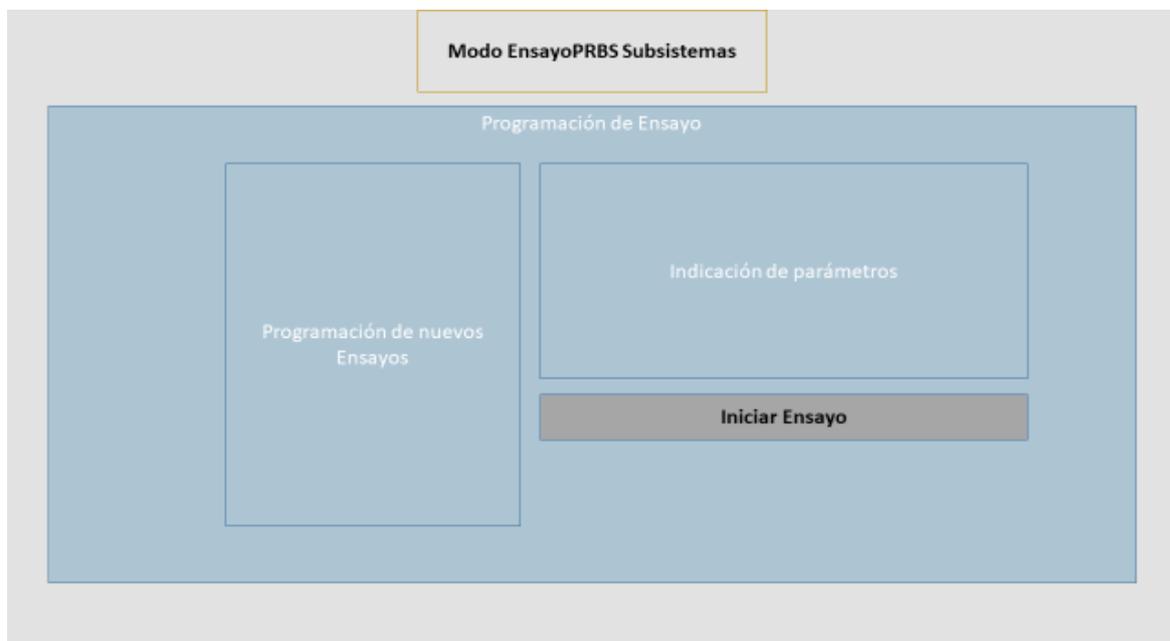


Figura 4.7 Plantilla modo Ensayo PRBS de los Subsistemas.

Una vez creadas las plantillas, el siguiente paso es la configuración de la navegación a través de ellas. El objetivo principal en este tipo de sistemas es que la navegación sea accesible y fácil de usar por el operario, para este fin se puede utilizar alguno de los siguientes métodos para facilitar la navegación que recomienda la guía GEDIS.

- Barras de Menús y submenús. (Método elegido en este proyecto).
- Barra de Botones.
- Barras de Iconos gráficos.
- Link con hipertexto
- Link con gráficos de procesos.
- Teclas de funciones.
- Cajas Combo o Listas Desplegables ('Combo boxes') [8].

Las siguientes directrices se deben tomar en cuenta cuando se establece la forma de navegación:

- La navegación debe de ser intuitiva y no un obstáculo a las acciones del operador en situaciones de emergencia.
- El área de contacto para pulsar en situaciones críticas debe ser lo suficientemente grande para que sea fácil de accionar.
- Es recomendable proporcionar al operador la posibilidad de desplazarse a la pantalla anterior o la siguiente dentro del mapa de navegación así como la de regresar al inicio del sistema y la de cierre de pantalla.
- Si se utilizan íconos, se recomienda proporcionar una ayuda textual al usuario (puede ser fuera de línea, o bien en línea).
- Se recomienda utilizar zonas predefinidas de la pantalla para ubicar los menús, barras de botones, de íconos, botones de atrás, adelante, inicio, cierre, etc.
- Al usarse menús, estos deben ser agrupados en base a la similitud funcional de sus elementos.
- Los menús deben presentarse en una sola columna vertical u horizontal, evitando en lo posible anidar submenús.
- El orden en que se muestran las opciones de los menús debe basarse en conceptos como la importancia de la función o la frecuencia de su uso.
- El texto que describe las funciones debe ser corto y conciso.
- Si favorece la claridad se pueden usar separadores entre diferentes grupos de opciones del menú.
- Se recomienda también proporcionar al operador el mapa general de navegación. [8]

La interfaz desarrollada para el control de cultivo en el invernadero de la Estación Experimental “Las Palmerillas” proporciona una navegación horizontal y sencilla. La navegación por la cual se ha optado es la de seguir utilizando barra de menú y submenús horizontales. El componente y forma elegida para ello ha sido el conjunto de pestañas horizontales cumpliendo así con la tendencia de un solo click y obteniendo elementos siempre visibles y con espacio fijo en la pantalla.

La distribución se divide en: pantalla principal (sinóptico de toda la planta), configuración, subsistemas y análisis (Ver figura 4.8). Dentro de estos menús principales las opciones y acciones que forman estos menús, se han agrupado por similitud en su funcionalidad en submenús.

Principal	Configuración	Subsistemas	Análisis
-----------	---------------	-------------	----------

Figura 4.8 Menús principales

En la zona inferior de la pantalla se encuentran los menús principales anteriormente mencionados, estos se mantendrán siempre visibles independientemente de la pantalla en que se encuentre el operario con la finalidad de mantener la facilidad en la navegación y la pronta visualización entre pantallas. Dentro de la pantalla configuración, para acceder a la modificación de parámetros se deberá contar con permisos de administrador e iniciar sesión con dichas credenciales. Para ello lo único que se deberá realizar es introducir un usuario y contraseña de administrador e iniciar sesión a través del botón (Ver figura 4.9) redirigiendo automáticamente al menú de configuración del sistema donde se podrán realizar modificaciones dedesadas tanto en variables del sistema como en limites en los rangos de las alarmas.



Figura 4.9 Inicio de sesión.

Dentro de la pantalla dedicada a la supervisión de subsistemas, será posible la navegación por los distintos subsistemas a través de submenús lo que permitirá al operario de planta navegar por lo subsistemas de forma sencilla (Ver figura 4.10).



Figura 4.10 Navegación submenús de Subsistemas.

Dentro de cada subsistema independiente, el operario podrá navegar entre los modos de control, ensayo o ensayo PRBS accediendo a los parámetros configurables de cada uno de ellos (Ver figura 4.11).

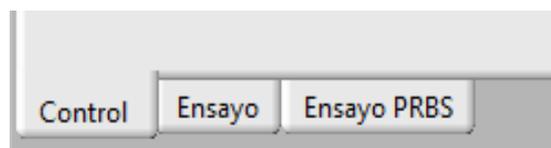


Figura 4.11 Submenús de subsistemas.

Se han definido una serie de botones y/o interruptores para el sistema SCADA. Los botones definidos son mostrados en la siguiente tabla 4.2 y 4.3 Continuación donde se recoge la ilustración de cada uno de ellos así como su funcionalidad dentro del sistema.

Icono	Función
	Stop General del sistema SCADA. Su función es el paro general ante cualquier emergencia.
	Inicio de sesión. Accede al menú de configuración con unas credenciales de administrado.

Tabla 4.2 Botones accesibles desde el sistema SCADA.

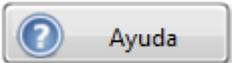
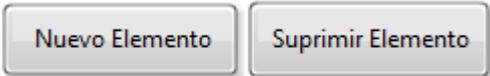
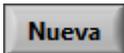
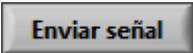
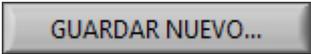
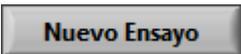
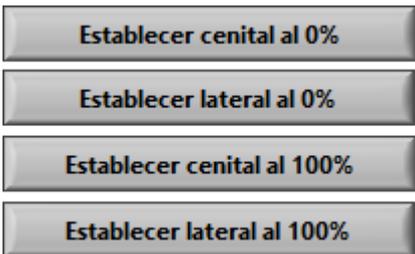
Icono	Función
	<p>Salir de la sesión. Salida de la sesión de administrador.</p>
	<p>Ayuda. Muestra una ventana emergente con mensaje de ayuda.</p>
	<p>Guardar Configuración. Guarda la configuración establecida por el operario con los parámetros deseados.</p>
	<p>Nuevo/Suprimir Elemento. Añade o suprime una pestaña de submenús para añadir o suprimir un subsistema.</p>
	<p>Nueva Consigna. Establece una nueva consigna para la variable elegida.</p>
	<p>Enviar señal. En modo manual, envía la señal de la consigna deseada.</p>
	<p>Guardar Nuevo. Guarda un nuevo script de control para su ejecución en el bucle de control.</p>
	<p>Nuevo ensayo. Establece un nuevo ensayo habiendo elegido unos parámetros.</p>
	<p>Iniciar ensayo. Inicia el ensayo con los valores establecidos por el operario.</p>
	<p>Establecer cenital/lateral al 0/100%. Abre o cierra las ventanas a un límite superior o inferior.</p>

Tabla 4.3 Botones accesibles desde el sistema SCADA (Continuación)

4.1.3 Color y texto

Uno de los elementos más importantes dentro de las interfaces hombre-máquina es el color, su uso adecuado, conservador y convencional es un factor determinante para la creación de una interfaz que resulte fácil de entender y visualizar por el operario. En esta fase se deben definir los siguientes estándares referidos al color como marca la guía GEDIS:

- Los estatus de dispositivos deben de estar definidos por colores (marcha, paro, falla, manual).
- Distinto color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.).
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.).
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.).
- Color de valores de proceso (Temperaturas, presiones, niveles, etc.).[\[8\]](#)

Particularmente respecto a la selección de los colores del fondo de la pantalla se recomiendan las siguientes directrices:

- Se debe usar colores neutros para el fondo de la pantalla (gris, beige, arena, azul).
- No usar blanco y negro dado que dan mucho resplandor y cansancio a la vista.
- Los colores de fondo de elementos debe crear un alto contraste para ser bien definidos.
- El uso de diferentes colores de fondo puede ser utilizado para distintos procesos o áreas de la planta.
- Evitar usar colores primarios en zonas grandes de la pantalla.

Las especificaciones de color utilizadas en el sistema se resumen en la siguiente tabla 4.4 y 4.5 Continuación. En ella se describe el elemento definido y una muestra del color.

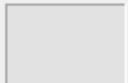
Fondos de Pantalla	
Fondo de pantalla	 Color Sólido
Fondo de sectores en pantalla	 Color Sólido
Actuadores	
Equipo en Marcha	 Color Sólido
Equipo en espera	 Color Sólido
Botones	
Botones de criticidad alta	 Color Sólido

Tabla 4.4 Paleta de colores.

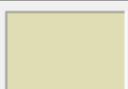
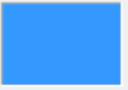
Botones	
Botones criticidad media/baja	 ColorSólido
Conductos	
C02 desactivado	 ColorSólido
C02 activo	 ColorSólido
Aire activo	 ColorSólido
Aire desactivado	 ColorSólido
Agua activa	 ColorSólido
Agua desactivada	 ColorSólido
Texto	
Títulos, etiquetas y datos	 ColorSólido

Tabla 4.5 Tabla de botones (Continuación)

En cuanto a la información mostrada en el sistema SCADA, suele ser con formato textual. Es importante regular el uso de este elemento para informar eficazmente al operador respecto al estado del proceso, por lo que se debe establecer un estándar que rija su utilización. Las características del texto que se deben definir para este fin son las siguientes:

- No se deben utilizar más de tres fuentes ni tres tamaños de fuente en la interfaz.
- Preferentemente usar fuentes *sans serif*.
- No usar letras mayúsculas en todas las letras del texto, procurar combinarlas con las minúsculas.
- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar el código de colores.
- Alinear el texto en pantalla: etiquetas a la izquierda, números a la derecha.
- El punto decimal siempre debe ir alineado. [8]

El sistema diseñado utiliza una fuente *Arial* del tipo *sans serif* y han sido utilizados los tamaños 16 para etiquetas y datos, 36 y 26 para títulos y 20 para la fecha y hora actual. Todo el texto aparece en color negro cumpliendo así con las especificaciones presentadas en la guía *GEDIS*.

4.1.4 Equipos, valores y tablas.

En este apartado se define el estándar de gráficos, simbología e iconos que representan los diversos equipos de la planta. Al definir estos símbolos e íconos que representen a los equipos y eventos del proceso se recomienda observar las siguientes directrices recomendadas por la guía ergonómica de diseño:

- Deben ser simples, cerrados y de un tamaño suficientemente visible por el operario.
- Se deben evitar detalles y realismo innecesarios.
- Utilizar figuras geométricas simples para definir los símbolos e íconos.
- Preferentemente deben ser enmarcados y delimitados con borde oscuro.
- Los símbolos e íconos no deben ser ambiguos.
- Si es el caso, se puede reforzar la señalización del estado del equipo o evento con un texto que también lo indique o bien con un elemento externo. [8].

Una gran parte de los gráficos que componen los equipos del sinóptico de la pantalla principal del sistema SCADA han sido recopilados de las librerías gráficas del módulo *DSC* (Datalogging and Supervisory Control) que incorpora el software *LabVIEW*. Han sido añadidos componentes como red de tuberías, bombas, electroválvulas, calderas, ventiladores etc... hasta completar un sinóptico lo más parecido a las instalaciones de la planta real de la estación experimental "Las Palmerillas". Para remarcar la acción de los actuadores instalados y ser más fácil la supervisión por el operario, los elementos dinámicos han sido reforzados con leds que indicaran la actividad. Otros gráficos han sido obtenidos de la representación en movimiento para conocer su estado, como es el caso del ventilador.

En la figura 4.12 se muestra los elementos que forman el sistema de riego de la planta.

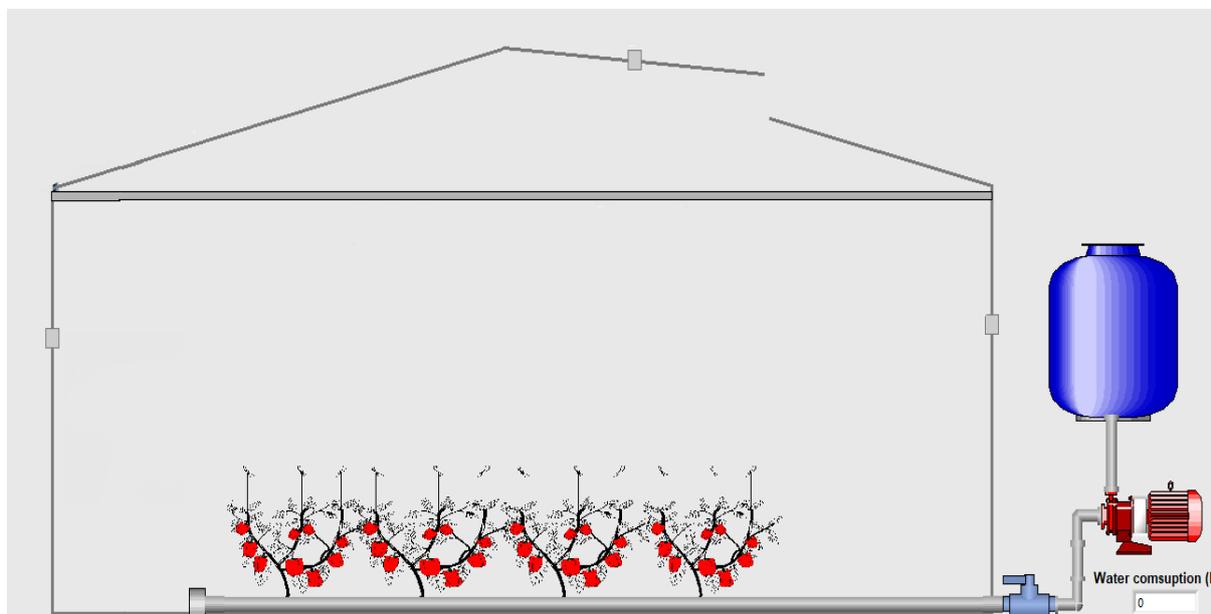


Figura 4.12 Sistema de Riego.

En la figura 4.13 y 4.14 se representa los elementos encargados de la calefacción biomasa. La caldera, la soplante y el depósito de carbón activo son representados mediante gráficos del módulo *DSC*.

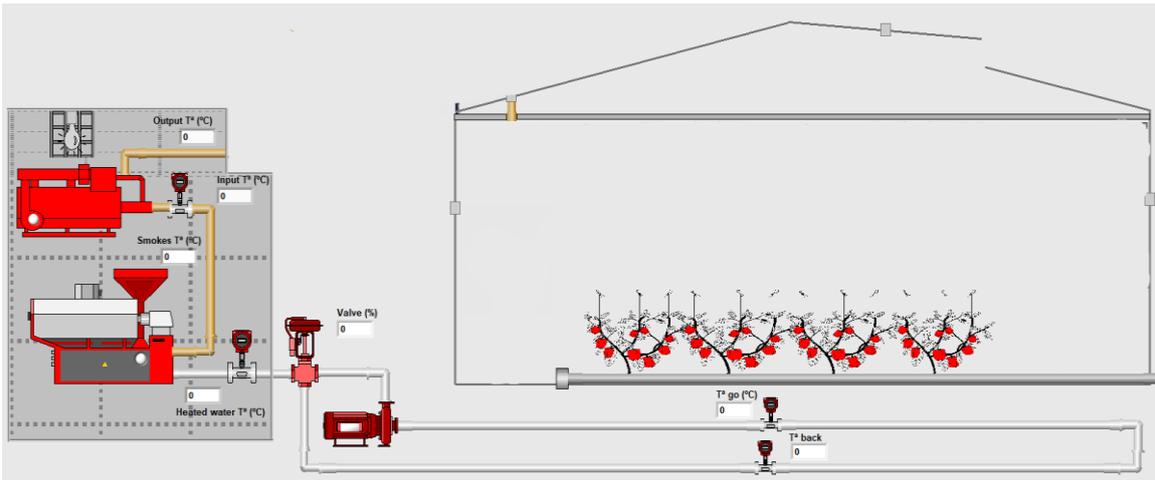


Figura 4.13 Sistema de Calefacción Biomasa

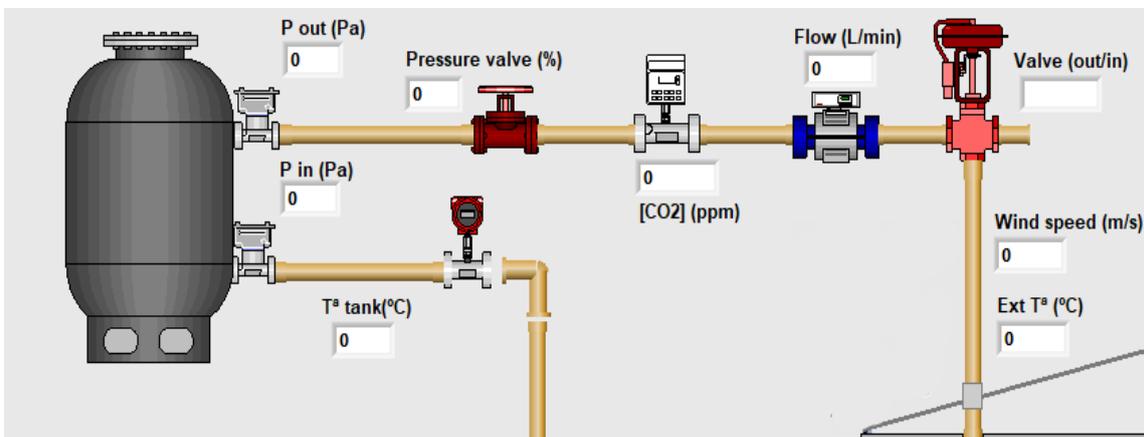


Figura 4.14 Sistema de almacenamiento de CO2

En la figura 4.15, se muestran los elementos que forman la ventilación forzada, la humidificación y deshumidificación, la luz artificial y la calefacción aeroterma.

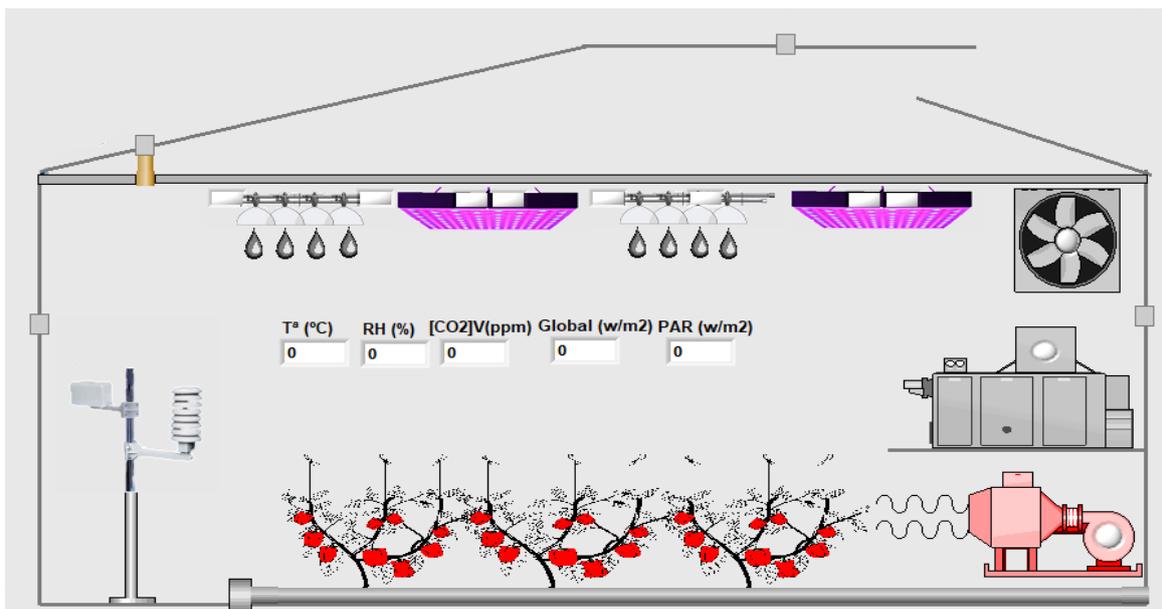


Figura 4.15 Sistemas de control del interior del Invernadero.

En la tabla 4.6 se han representado los principales iconos utilizados para representar los dispositivos como bombas, válvulas, electroválvulas, medidores que forman parte de los distintos sistemas que componen el sinóptico de la planta real.

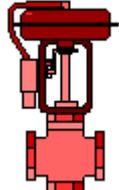
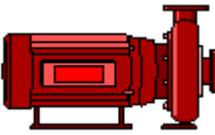
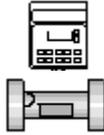
Icono	Descripción	Icono	Descripción
	Caudalímetro		Medidor de presión
	Electroválvula		Válvula de presión
	Bomba centrífuga		Sensor de CO2
	Medidor de flujo		Válvula

Tabla 4.6 Iconos de elementos de los sistemas

4.1.5 Acceso y controles.

Los controles y accesos que se encuentren en el sistema de supervisión y adquisición de datos deben tener una gran visibilidad y una facilidad de operación elevada. Para cumplir estos requisitos es imprescindible que su área de acción en pantalla sea bastante visible, perfectamente etiquetada y reconocible por el operario. El acceso a la modificación de la configuración está limitado (Ver figura 4.16) por lo que se deberá contar con unas credenciales de administrador para poder realizar cambios con éxito.



Figura 4.16 Acceso a la configuración.

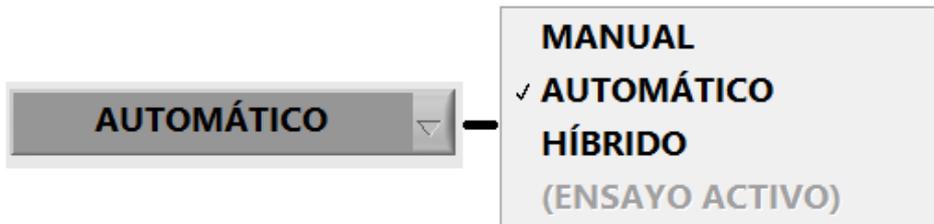


Figura 4.17 Selector de modo de funcionamiento.

La imposición de las consignas es establecida mediante un interruptor que coloca la consigna como la referencia a seguir por las condiciones de control de los actuadores. En cada modo de funcionamiento, se refleja mediante un botón interruptor, una ayuda al operario donde se argumenta el funcionamiento del modo. Para la generación de ensayos, se cuenta con dos interruptores, uno que fija las características establecidas por el operario para el ensayo y otro que realiza la ejecución del mismo. En diferentes cuadros de numeración será necesario introducir por el operario el valor numérico de determinados parámetros. Todos las etiquetas o apartados con fondo en blanco podrán ser introducidas de forma manual haciendo clic sobre el cuadro. Para realizar la introducción directa basta con hacer clic sobre la etiqueta con fondo blanco e introducir el valor deseado. Otra opción de control es la modificación o lectura y escritura de archivos que serán accionados mediante una casilla de check. La escritura en archivos externos, se realiza mediante un box de búsqueda de archivos. El guardado de toda la configuración se realiza mediante un botón interruptor. Y por último la opción de añadir o suprimir subsistemas se da mediante unos botones interruptores. Todos los interruptores anteriormente nombrados se muestran en la tabla 4.7.

Descripción	Interruptor
Nueva consigna de referencia	Nueva Consigna Nueva
Interruptor de ayuda	Ayuda
Programación del nuevo ensayo	Programar Ensayo Nuevo Ensayo
Iniciar el ensayo	Iniciar Ensayos
Introducción de valores manuales	Tiempo lectura (ms): 1000
Ajustes de configuración	Modificar configuración <input type="checkbox"/>
Búsqueda y escritura de archivos	Ruta datos estadísticos C:\Palmerillas\Control\INT\ProyectoV2\archivosEstadistica
Guardar la configuración deseada	GUARDAR CONFIG
Añadir/Suprimir Subsistemas	Nuevo Elemento Suprimir Elemento

Tabla 4.7 Consigna de referencia

En el modo manual de todos los procesos las órdenes de ejecución de los actuadores son enviadas mediante botones del tipo interruptor o mediante potenciómetros que nivelan la ejecución del actuador. En la siguiente tabla 4.8 se muestran los mencionados botones de los subsistemas.

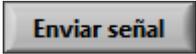
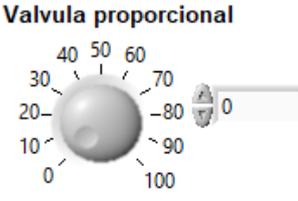
Descripción	Botón	Descripción	Botón
Ventilación (Ventana Lateral/Cenital)		Calefacción Aeroterma	
Calefacción Biomasa (Bomba calefacción)		Riego (Bomba de riego)	
CO2 (Soplante)		CO2 (Válvula 3 vías)	
Riego (Válvula de Riego)		Humidificación	
Deshumidificación		Luz Artificial	
NuevoSubsistema1		NuevoSubsistema2	
Calefacción Aeroterma (Válvula Proporcional)		CO2 (Regulador de presión)	

Tabla 4.8 Interruptores del modo manual

4.1.6 Alarmas

Las alarmas son elementos muy importantes del sistema SCADA ya que alertan al operador sobre las situaciones anómalas que se presentan en el proceso e implican una intervención. Alarmas y mensajes se deben clasificar por prioridades en cuanto a su criticidad:

- Críticas: amenazan la seguridad de la planta y pueden llegar a implicar la detención de la producción.
- Advertencias: se pueden convertir en situaciones críticas después de un tiempo si el evento que accionó la advertencia continúa
- Mensaje: eventos que conviene transmitir al operador pero no representan una amenaza.

Las principales directrices que deben tenerse en cuenta durante la definición de alarmas son las siguientes:

- Los mensajes y las alarmas deben ser consecuentes con los estándares de color, fuentes, texto, etc...
- Para no saturar el proceso se debe evitar el exceso de alarmas y mensajes.
- Para constatar el reconocimiento de una situación crítica, el operario debe validar las alarmas críticas (Acknowledge).
- El código de colores de alarmas debe complementarse con otros elementos.
- La ventana o zona de alarmas debe ser accesible siempre para el operador.
- El texto de las alarmas debe mostrar el equipo concreto, el parámetro anómalo, la hora y la fecha del evento.
- Las alarmas tienen una componente textual en su ventana y uno gráfico en el sinóptico de proceso respectivo.
- No se recomienda el uso de intermitencia (blinking) para mostrar las alarmas ni en la pantalla de proceso ni en la ventana de textos de las mismas salvo en casos excepcionales
- El operador debe poder reconocer las alarmas fácilmente y sin tener que desplazarse de su zona actual de trabajo. [8]

La programación de alarmas del sistema SCADA actual se ha llevado a cabo controlando 3 parámetros: temperatura, humedad y velocidad del viento. Se han considerado estas tres variables como las más importantes para el control por lo que se ha realizado una gestión de alarmas sobre ellas y dando la posibilidad de determinar los rangos superior e inferior de cada variable en el menú de configuración.

Las alarmas tendrán su lugar en la pantalla principal. Desde este emplazamiento el operario podrá conocer el estado de las alarmas, es decir, tendrá constancia de si una de las variables se encuentra en un rango distinto al programado. Esta ubicación dentro de la pantalla principal crea la facilidad de visualización sin necesidad de navegación entre pantallas. El aviso de una situación crítica para la planta se avisará mediante un mensaje de alarma el cual informará al operario de la variable que está produciendo dicha alarma y será este quien deberá realizar la acción (Acknowledge) para desactivarla pulsando un botón de "OK".

Para llevar un conocimiento de la activación de alarmas, se ha programado dentro del menú Análisis, un registro de alarmas. Este registro, permitirá conocer la fecha y hora de la alarma producida así como de la variable que la ha provocado.

4.2 Configuración de la comunicación de elementos.

Todos los sensores y actuadores del sistema están intercomunicados con el sistema SCADA de una manera u otra. En este apartado se verá la configuración que se adopta para la comunicación de todos los dispositivos con el sistema remoto.

Para la adquisición de datos en el invernadero y por consiguiente su control, se han instalado una serie de elementos de medida (sensores, válvulas, electroválvulas, etc...) conectados a controladores o tarjetas configurables de E/S conectadas a los FieldPoints los cuales están conectados vía Ethernet al sistema de supervisión del operario. La conexión indirecta entre un Compact FieldPoint y una computadora con un hub o switch al centro es la conexión utilizada en la planta. Se usan los cables típicos de Ethernet de par trenzado para la conexión física entre dispositivos.

El primer paso para la configuración de la comunicación es la incorporación de los Compact Fieldpoints a la red Ethernet donde se encuentre alojado los dispositivos dedicados a la obtención de datos y la conexión de los mismos a los módulos de E/S de adquisición de datos. (Ver figura 4.18) [48].

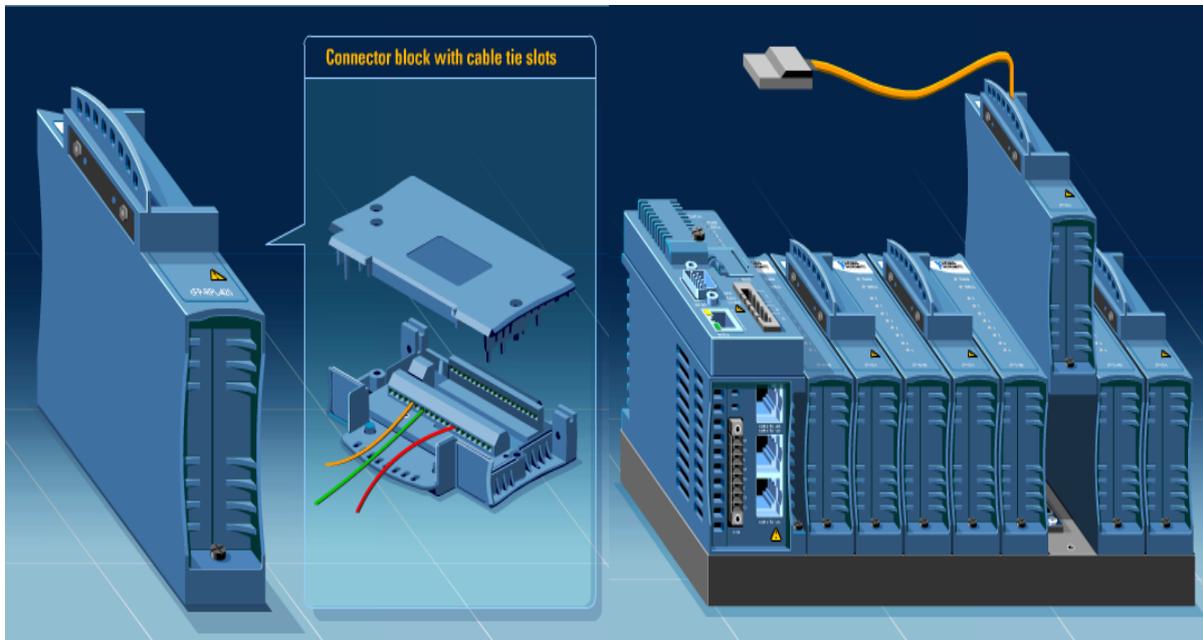


Figura 4.18 Conexión de elementos de adquisición de datos a Compact Fieldpoint [48]

La configuración de una red de conexión única, debe de comenzar con la asignación de una IP estática que corresponda con la subred de la computadora con la que se está intentado comunicar el Compact Fieldpoint. Para establecer la dirección IP en el sistema operativo Windows utilizado en la se debe seguir los siguientes pasos:

1. Menú >> Configuración de Windows > Red e Internet.
2. Cambiar propiedades de conexión > Configuración de IP.
3. En la ventana de Propiedades de Conexión de Área Local se hará clic en Editar
4. Seleccione la dirección IP y escriba la dirección IP y la máscara de subred.

Para configurar el FieldPoint a la misma subred.

1. Configure el FieldPoint a un estado en el que transmita a todas las subredes y pueda aparecer en Measurement and Automation Explorer MAX.
 - Para los controladores de FieldPoint y Compact FieldPoint de Tiempo-Real, ponga los switches de Reset IP y Safe Mode DIP en On (Ver figura 4.19).
 - Para Módulos de red como el cFP-180x, use el switch de RESET IP correspondiente (Ver figura 4.20).
2. Presione el botón de RESET en el FieldPoint o apague y encienda el aparato.
3. Abra Measurement and Automation Explorer en Menú Inicio» Archivos de Programa» National Instruments » Measurement and Automation.
4. Expanda Remote Systems. El FieldPoint debe aparecer como 0.0.0.0.
5. Haga un clic sobre remote systems, y seleccione la pestaña de Configuraciones de Red en la parte central inferior de la ventana.

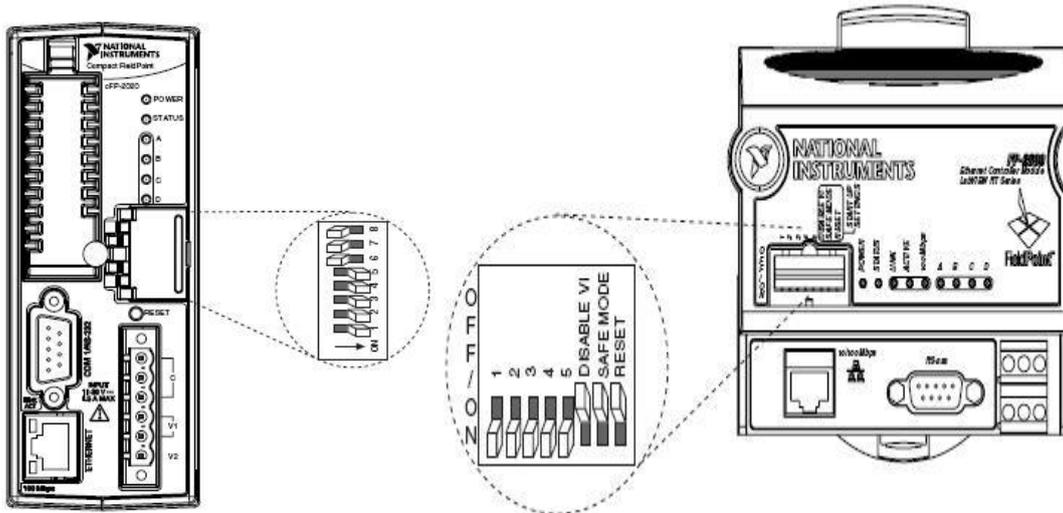


Figura 4.19 Controlador de Compact FieldPoint (7 = Safe Mode, 8 = Reset IP) [59]

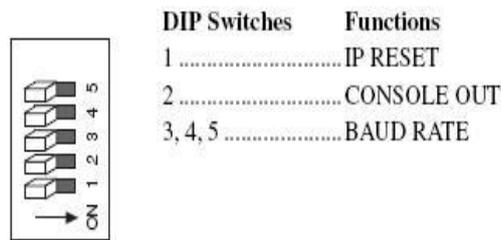


Figura 4.20 Módulo Ethernet Compact FieldPoint cFP-180x [59]

6. Seleccione Edit the IP Settings bajo IP Settings, y escriba la dirección IP y la máscara de subred establecida (Ver figura 4.21).

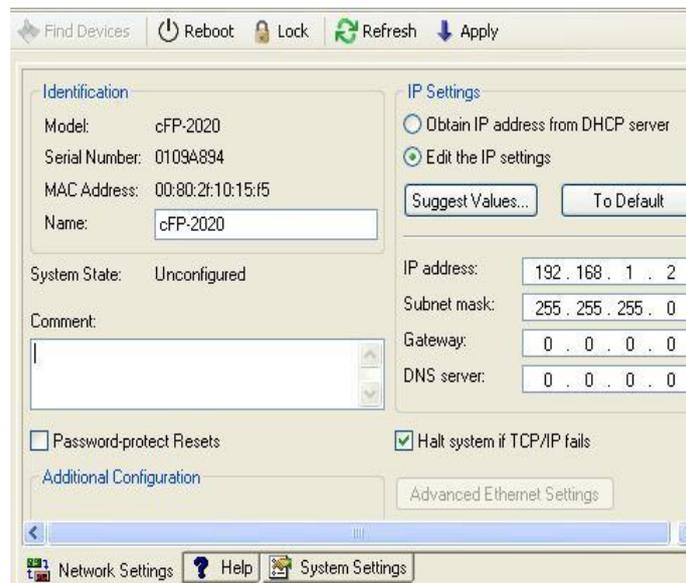


Figura 4.21 Ajustes de IP de subred [59].

7. Apague los DIP switches que estaban encendidos y reinicie el equipo.
8. El FieldPoint debe aparecer ahora con el nombre en el sistema remoto (Ver figura 4.22). [59]

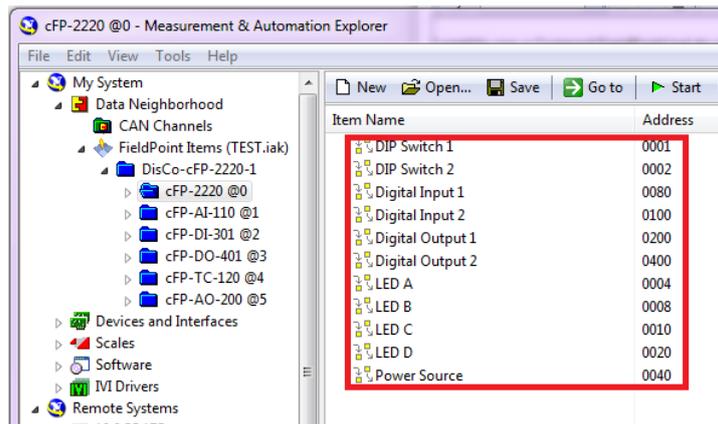


Figura 4.22 Fieldpoints en NI MAX [59].

Una vez llegados a este punto en que la comunicación entre los compact Fieldpoints, el dispositivo de red Ethernet y la computadora se ha establecido se deberá guardar un archivo de extensión “.iak” que guardará toda la configuración de comunicación establecida. Esto puede hacerse haciendo clic sobre los elementos de Fieldpoint en NI MAX y seleccionando la opción Save or Save As... Esto realizará una copia de la configuración establecida entre los Fieldpoints y la computadora y se usará para la posterior configuración de la comunicación el proyecto generado por Labview.

Por último se deberá abrir el proyecto para añadir el archivo .iak creado anteriormente en NI MAX en el proyecto creado de Labview. Este proyecto .lvproj, contiene la totalidad de los VIs creados para el funcionamiento del sistema. La carga de la configuración se podrá realizar mediante dos métodos, importando el archivo .iak al mismo proyecto o importándolo o incluyendo los dispositivos y tarjetas de forma manual pulsando el botón derecho del ratón sobre la raíz del proyecto donde aparecerá la opción de “new” desde donde se podrán incluir los dispositivos Compact Fieldpoints (Ver figura 4.23).

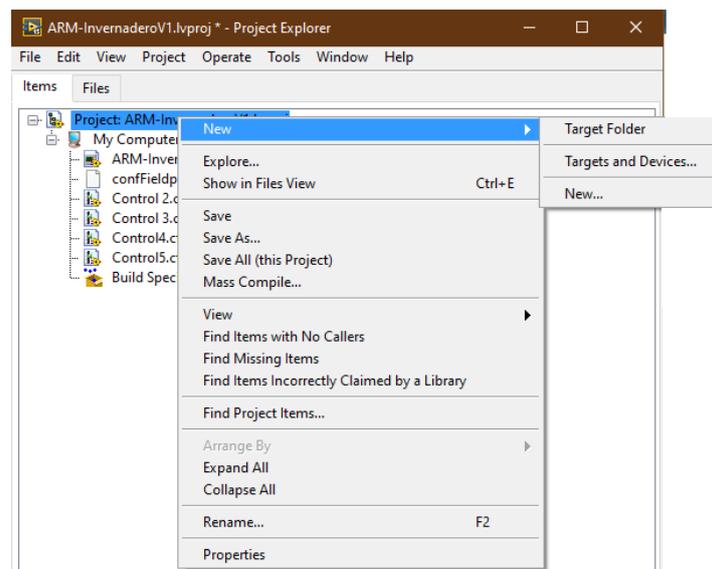


Figura 4.23 Importación de la configuración de los Fieldpoints

Como resultado de la configuración de la comunicación entre todos los elementos que componen el sistema se deberá realizar una acción final para obtener una lectura acertada de todos dispositivos de adquisición de datos. Para ello, se deberá modificar las rutas de lectura y escritura de los distintos

canales de los Fieldpoints en el VI de Lectura FP y Escritura FP, VIs que forman parte de la totalidad del proyecto. Un ejemplo es el mostrado en la figura 4.24 y figura 4.25. Para modificar el canal, bastará con desplegar el browser de la caja y asignar el Fieldpoint, tarjeta o módulo de E/S y el canal correspondiente.

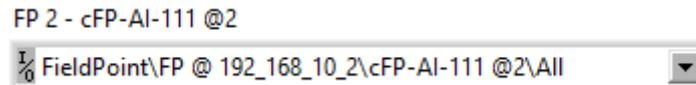


Figura 4.24 Lectura Fieldpoint

Este canal representado anteriormente en la figura, corresponde al Fieldpoint 2 situado en el interior del invernadero y al módulo de entradas analógicas AI 111 y más concretamente al canal 2 de ese módulo de entradas y salidas.

FieldpointsArray	TarjetasArray
Fieldpoint-1	cFP-AI-110 @1 cFP-AI-111 @2 cFP-AI-112 @3 cFP-DO-400 @4 cFP-DO-400 @4
Fieldpoint-2	cFP-AI-112 @1 cFP-AI-112 @2 cFP-RTD-124 @3 cFP-AI-112 @4 cFP-DO-400 @4
Fieldpoint-3	cFP-AI-100 @1 cFP-CTR-502 @2 cFP-RTD-124 @3 cFP-DO-403 @4 cFP-AO-200 @5 cFP-DO-400 @4
Fieldpoint-4	cFP-DO-403 @1 cFP-DO-403 @2 cFP-DO-403 @3 cFP-DO-400 @4 cFP-DO-400 @4

Figura 4.25 Escritura Fieldpoint

Como último paso para establecer la comunicación efectiva entre los dispositivos y el sistema SCADA se deberá adjudicar las variables en la configuración. Para ello, en la tabla de configuración (Ver figura 4.26) de Fieldpoints, se deberá establecer el nombre de la variable, una identificación y asignarle un Fieldpoint, una tarjeta de adquisición y un canal. Esto deberá corresponder con la correlación establecida en el conexionado del cableado de los dispositivos en los módulos de E/S de los Fieldpoints situados en la planta. Como resultado de la correcta configuración de la comunicación de los dispositivos conectados a los Fieldpoints, los valores obtenidos por estos serán mostrados en las variables asignadas a ellas del sinóptico principal.

var_DVExt	3	DV exterior	1	1	3	1,000000	0,000000
var_Lluvia	4	Lluvia	1	1	4	1,000000	0,000000
var_CO2Exterior	5	CO2 exterior	1	1	5	400,00000	0,000000
var_RadiacionExt	6	Radiación exterior	1	1	6	46425,250	0,000000
var_PotActInv	7	Potencia Activa Invernadero	1	2	0	1645,6000	-6,582500
var_PotReacInv	8	Potencia Reactiva Invernadero	1	2	2	1645,6000	-6,582500
var_Freclnv	9	Frecuencia eléctrica	1	2	4	47,000000	47,000000
var_Templnt	10	Tª Interior	2	1	0	100,00000	-40,000000
var_HumRint	11	HR Interior	2	1	1	100,00000	0,000000
var_RadiacionGlobalInt	12	Radiacion global int	2	1	2	200,00000	0,000000
var_RadiacionGlobalInt2	13	Radiacion global interior 2	2	1	3	49850,450	0,000000
var_CO2InvVaisala	14	CO2 interior	2	1	4	400,00000	0,000000
var_Temp_Pasillo	15	Tª Pasillo	2	1	5	100,00000	-40,000000

Figura 4.26 Configuración de las variables de los Fieldpoints

5. RESULTADOS.

En el siguiente apartado 5 se divide la explicación del funcionamiento de todos los menús y submenús de la herramienta SCADA, la puesta en marcha y comprobación de funcionamiento de la herramienta y la evaluación según la guía Gedis de esta por supervisores de planta que serán los que trabajen con ella.

5.1 Herramienta SCADA

5.1.1 Página principal.

Una vez ejecutado el proyecto en *LabVIEW*, la primera visión por el operario será la pantalla principal (Ver figura 5.1), donde se muestra el nuevo sinóptico completo del invernadero. Esta interfaz muestra todos los procesos y subsistemas que participan en el control de la planta. Esta pantalla sigue el modelo creado como plantilla principal mostrado anteriormente en el Capítulo 4 “*Diseño del Sistema SCADA*” más concretamente en el apartado 4.1 “*Diseño de la Interfaz*” y dentro del 4.1.2 “*Distribución de pantallas y navegación*”. Siguiendo esta plantilla, en la parte superior se encuentran los logotipos de la Universidad de Almería y el grupo ARM (Automática, Electrónica y Robótica), la fecha y hora actual y el título de la planta. En la parte central se encuentra toda la interfaz de la instalación incluyendo sistemas, actuadores, sensores, elementos de actuación y variables monitorizadas. Y en la parte inferior, se encuentra las ventanas o pestañas de navegación desde donde el operario puede moverse para la dirigirse a diferentes ventanas con el objetivo de supervisar y controlar la planta.

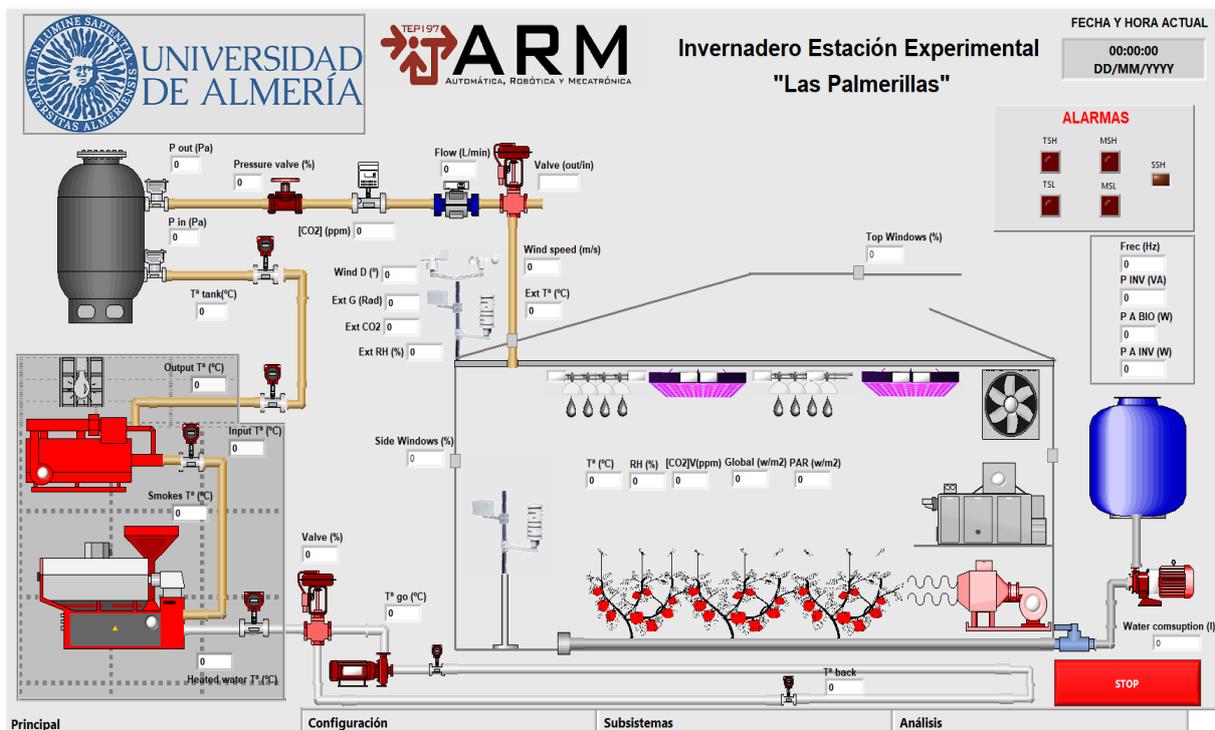


Figura 5.1 Sistema SCADA

En la parte central de la pantalla principal se encuentra la zona más importante del sinóptico del SCADA. En ella se representan todos los dispositivos que intervienen en el control de las variables y en la adquisición de datos para el control del cultivo. En la interfaz principal se muestran los siguientes equipos, elementos y variables que forman parte de la instalación (Ver figura 5.2):

- Ventilación forzada.
- Calefacción biomasa
- Calefacción Aeroterma.
- Sistema de Riego.
- Sistema de CO2.
- Humidificación.
- Deshumidificación.
- Luz Artificial.
- Red de conductos.
- Equipos de regulación y control.
- Variables monitorizadas de los sensores.
- Sistema de control de potencias.

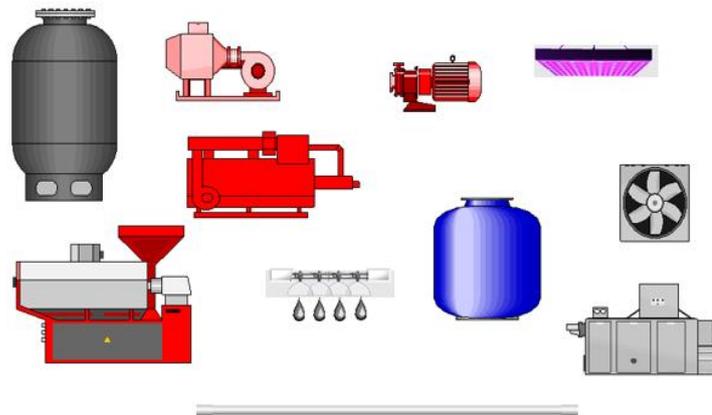


Figura 5.2 Conjunto de elementos del SCADA.

Y como garantía de seguridad, en la parte derecha inferior, zona de alta visibilidad o área terminal según el Diagrama de Gutenberg se sitúa el botón de paro de emergencia. En la parte superior derecha, se encuentran los luminosos de alarmas donde el operario podrá tener conocimiento si alguna de las variables programadas tiene un valor que no es correcto para el buen desarrollo del cultivo.

El objetivo de esta pantalla principal es la de crear una supervisión intuitiva y fácil del proceso de adquisición y control de las variables que intervienen en el proceso de control de cultivo en el interior del invernadero. Por ello esta ventana principal no contará con acciones o procesos que requieran la participación del operario sino que este se limitará a la visualización del conjunto pudiendo observar en todo momento el estado de las variables del interior y exterior del invernadero. En los siguientes apartados del capítulo, se mostrará con más detalle cada subsistema, el control de acceso a usuarios, la gestión de nuevos subsistemas así como la configuración y análisis del sistema SCADA. Las variables que son objeto de control para seguir la consigna en el interior del invernadero y las variables de visualización del sistema SCADA son las siguientes:

Variable	Control numérico
Variables a controlar	
Temperatura Interior	T ^a (°C) 0
Humedad relativa Interior	RH (%) 0
Concentración de CO2 Interior	[CO2]V(ppm) 0
Radiación Global Interior	Global (w/m2) 0
Radiación PAR Interior	PAR (w/m2) 0
Apertura de ventana Cenital	Top Windows (%) 0

Tabla 5.1 Variables del sistema

Apertura de ventana Lateral	Side Windows (%) 0
Apertura de la válvula Proporcional	Valve (%) 0
Consumo de Agua	Water consumption (l) 0
Apertura de la válvula 3 vías	Valve (out/in) 0
Temperatura del agua de la caldera	Heated water T ^a (°C) 0
Apertura válvula CO2	Pressure valve (%) 0
Variables de visualización	
Temperatura Exterior	Ext T ^a (°C) 0
Velocidad del viento	Wind speed (m/s) 0
Dirección del viento	Wind D (°) 0
Radiación Global Exterior	Ext G (Rad) 0
Radiación PAR Exterior	Ext PAR (Rad) 0
Caudal de CO2	Flow (L/min) 0
Concentración de CO2	[CO2] (ppm) 0
Presión de salida del tanque	P out (Pa) 0
Presión de entrada del tanque	P in (Pa) 0
Temperatura del tanque	T ^a tank(°C) 0
Temperatura de salida de la soplante	Output T ^a (°C) 0
Temperatura de entrada de la soplante	Input T ^a (°C) 0
Temperatura de la salida de humos	Smokes T ^a (°C) 0
Frecuencia medida	Frec (Hz) 0

Tabla 5.2 Variables del sistema (Continuación I)

Potencia	P INV (VA) 0
Potencia	P A BIO (W) 0
Potencia	P A INV (W) 0
Temperatura de circulación del agua	Tª go (°C) 0
Temperatura de retorno del agua	Tª back 0

Tabla 5.3 Variables del sistema (Continuación II)

5.1.2 Subsistemas de control

En este apartado se explicarán los subsistemas que forman parte del sistema de control, supervisión y adquisición de datos de la instalación de la estación experimental de “Las Palmerillas” de forma explícita mostrándose la nueva interfaz que ha sido diseñada para ellos. A fin de unificar criterios y simplificar el trabajo del encargado de planta todos los subsistemas de la planta trabajan y siguen el mismo diseño. A continuación, el subsistema ventilación mostrará el nuevo diseño programado sirviendo como ejemplo para los demás subsistemas a excepción de ciertos parámetros que serán reflejados según se explique el subsistema.

Subsistema Ventilación

Este sistema cuenta con la instalación de actuadores, en este caso motores eléctricos en las ventanas cenitales y laterales así como un ventilador para ventilación forzada. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante:

- La apertura de las ventanas cenitales y laterales que será representada mediante cuadros numéricos que mostrarán el tanto por ciento de apertura de las ventanas. (Ver figura 5.3)
- Ilustración de ventilador con movimiento para remarcar su estado (en funcionamiento/desactivado). (Ver figura 5.3)

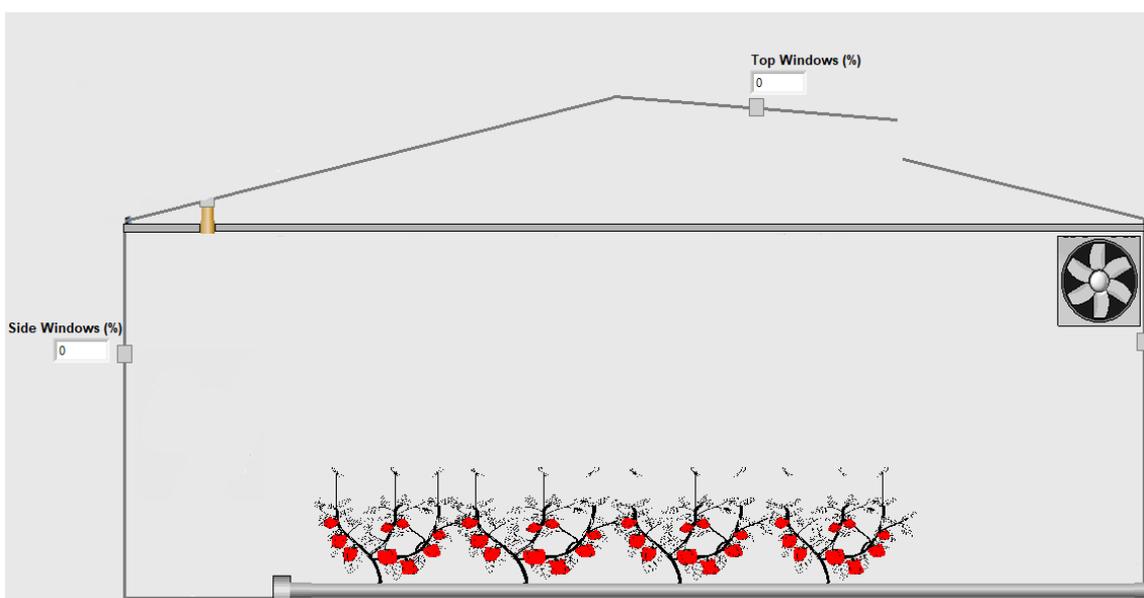


Figura 5.3 Subsistema Ventilación.

En el menú de subsistemas, la ventilación está dividida como se explicó anteriormente en tres submenús (control, ensayo y ensayo PRBS). El operario podrá navegar por estos submenús mediante el desplegable que dictará el modo de funcionamiento del subsistema situado en la parte superior junto al título. Estos submenús siguen la distribución de las nuevas plantillas ejemplo que han sido diseñadas para todos los subsistemas. Todos los modos contarán con la incorporación de un botón de ayuda que servirá de apoyo al operario en caso de desconocer la información mostrada.

En el modo Control, el operario podrá visualizar tres bloques diferenciados: un bloque de parámetros modificables, un bloque de control (manual, automático y ensayo) y un bloque de indicadores tanto de lectura como de actuación del sistema. El nuevo diseño del menú de control es el siguiente (Ver figura 5.4).

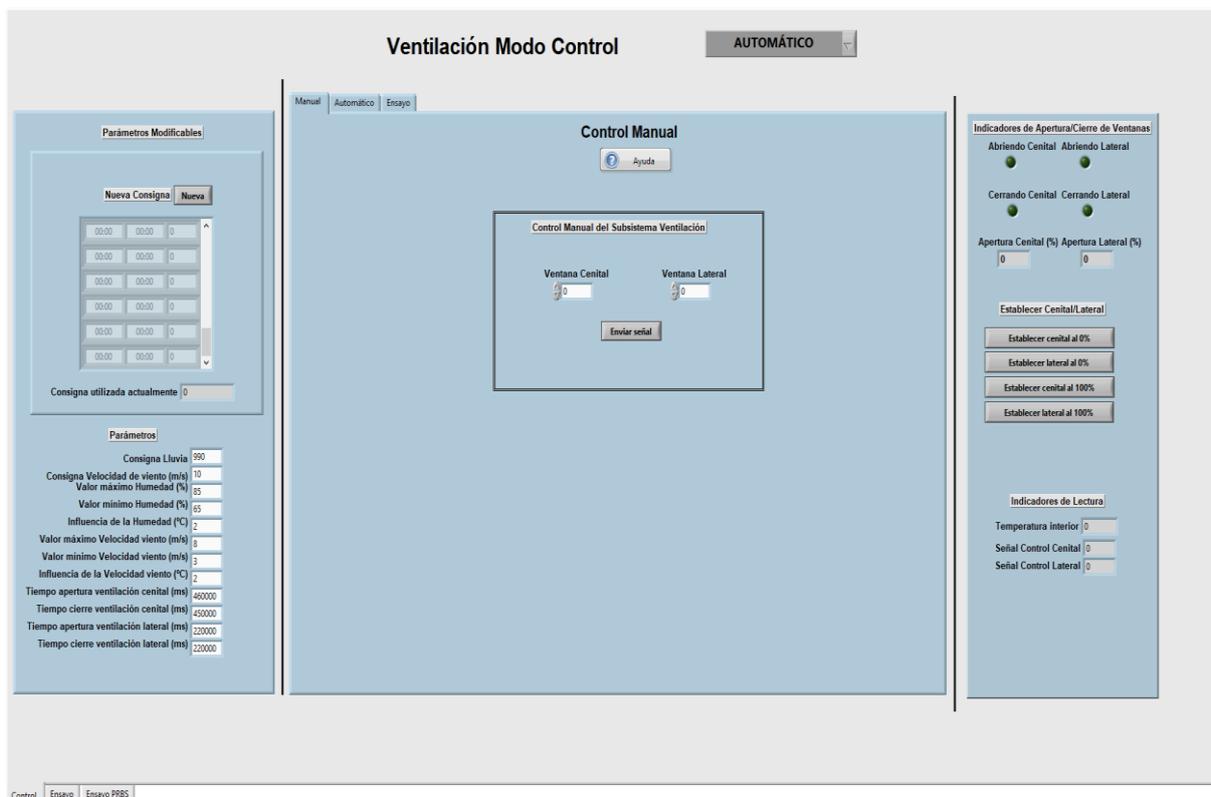


Figura 5.4 Ventilación Modo Control

En el bloque de parámetros modificables, el operario podrá colocar las consignas de control que desee, es decir, imponer una referencia para que el sistema siga esa consigna mediante el control automático de los sistemas que intervienen en la planta. Este parámetro será registrado mediante el botón de “nueva” que activará la consigna a seguir efectuando su aplicación en la tabla de consignas (Ver figura 5.5a). La visualización y lectura de las actuaciones serán visibles en la parte derecha de la plantilla diseñada (Ver figura 5.5b).

En el bloque de control, como se mencionó anteriormente la navegación será a cargo del interruptor desplegable de la parte superior. En el modo manual (Ver figura 5.6), la acción de control del sistema de ventilación es realizada de forma manual. La apertura de las ventanas es regulado por un controlador numérico que permite colocar la consigna deseada por el operario y mediante el interruptor de “Enviar Señal”, la consigna será enviada al sistema que realizará la acción de apertura o cierre de ventanas.

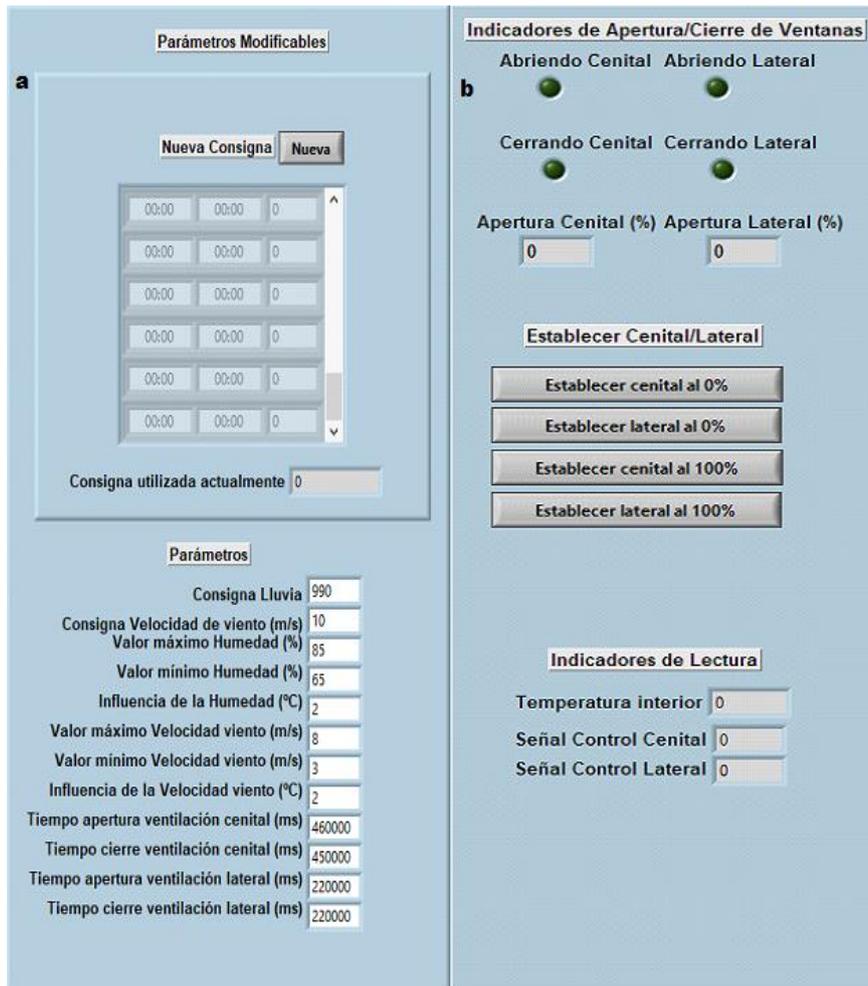


Figura 5.5 Parámetros modificables (a) y lectura/escritura y visualización de variables (b).

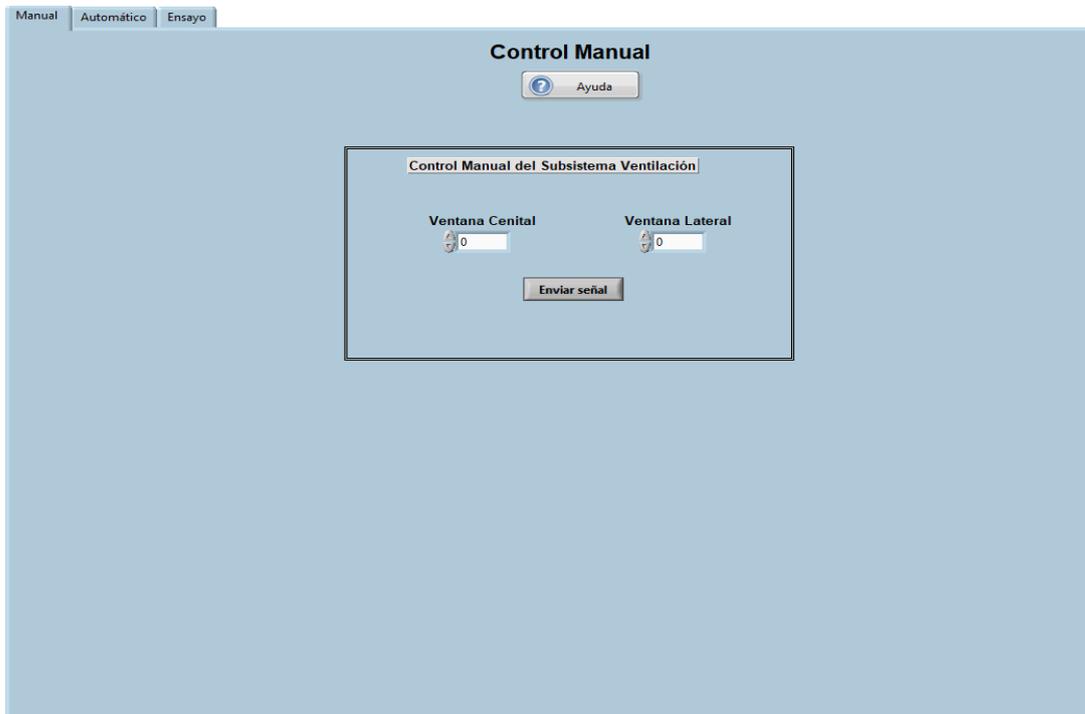


Figura 5.6 Ventilación Modo Manual

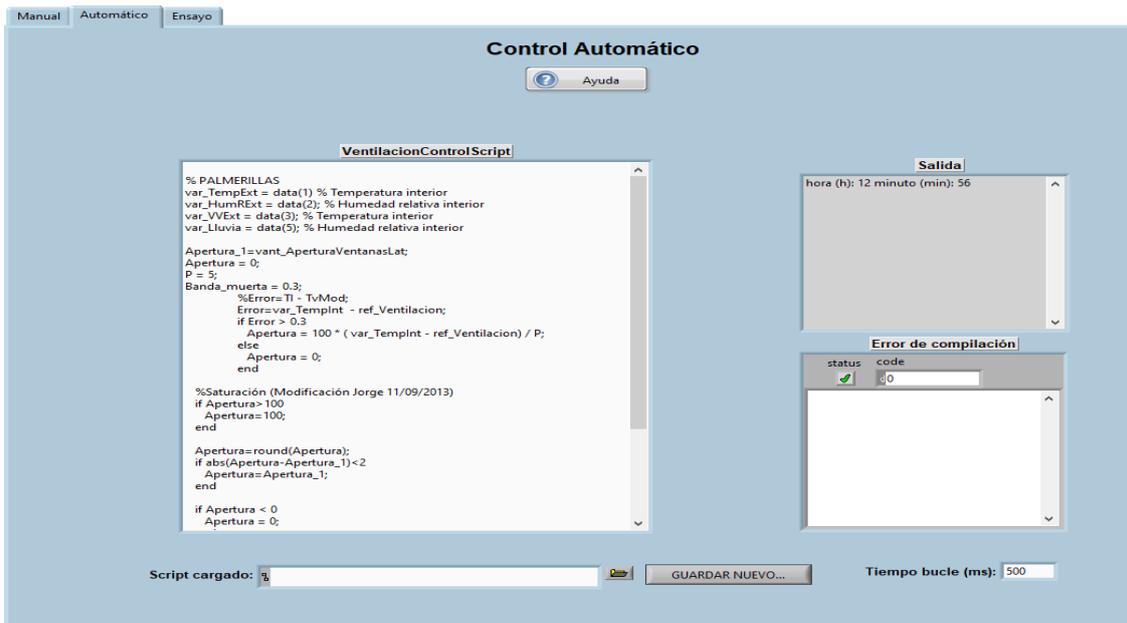


Figura 5.7 Ventilación modo Automático

En el modo ensayo (Ver figura 5.8), se puede asignar la consigna de ensayo deseada por el operario introduciéndola directamente en el controlador numérico y pulsando la tecla Enter de la computadora.

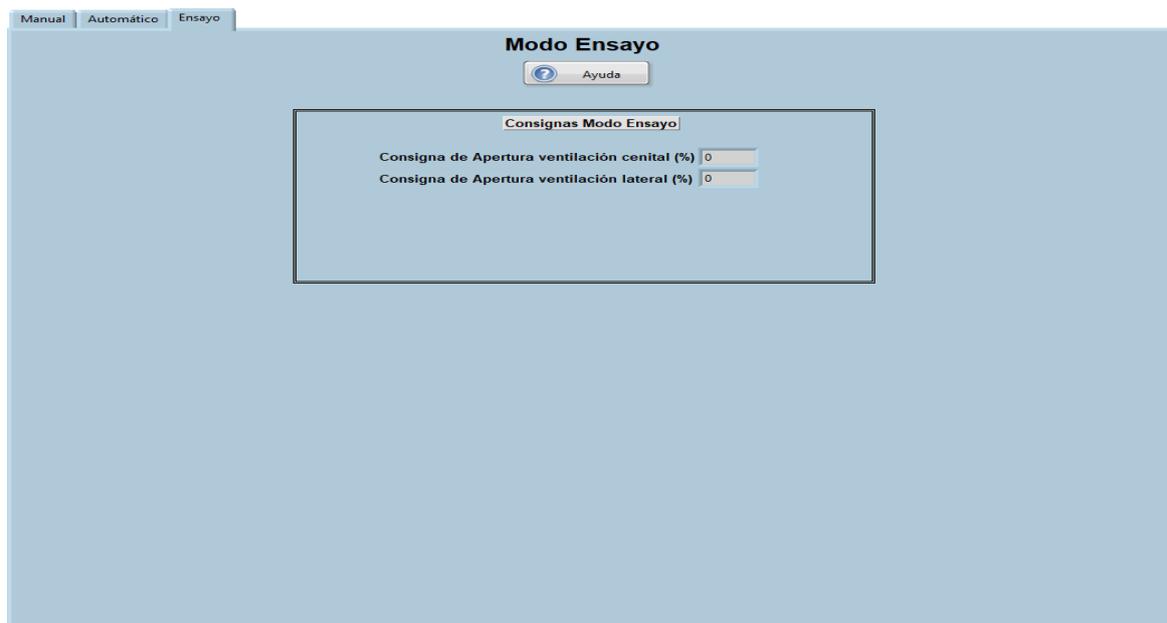


Figura 5.8 Ventilación modo ensayo

En el submenú de Ensayo, el operario visualiza el bloque principal que se divide en la programación de ensayos donde se muestra una tabla que gestiona la programación de ensayos donde quedará constancia del ensayo realizado mostrando la hora y fecha de inicio del mismo así como la fecha y hora de finalización, un interruptor de generación de nuevos ensayos y los parámetros principales donde está la hora y fecha actual y los indicadores de pantalla principal que reflejan la apertura de la ventana cenital y lateral. A parte en este bloque se encuentra el interruptor de inicio de ensayos. (Ver figura 5.9). La tabla de programación de ensayos, mostrará mediante un led, el estado del ensayo (activo/ desactivado), la hora de inicio y fin de los ensayos ejecutados y los resultados obtenidos de dichos ensayos.

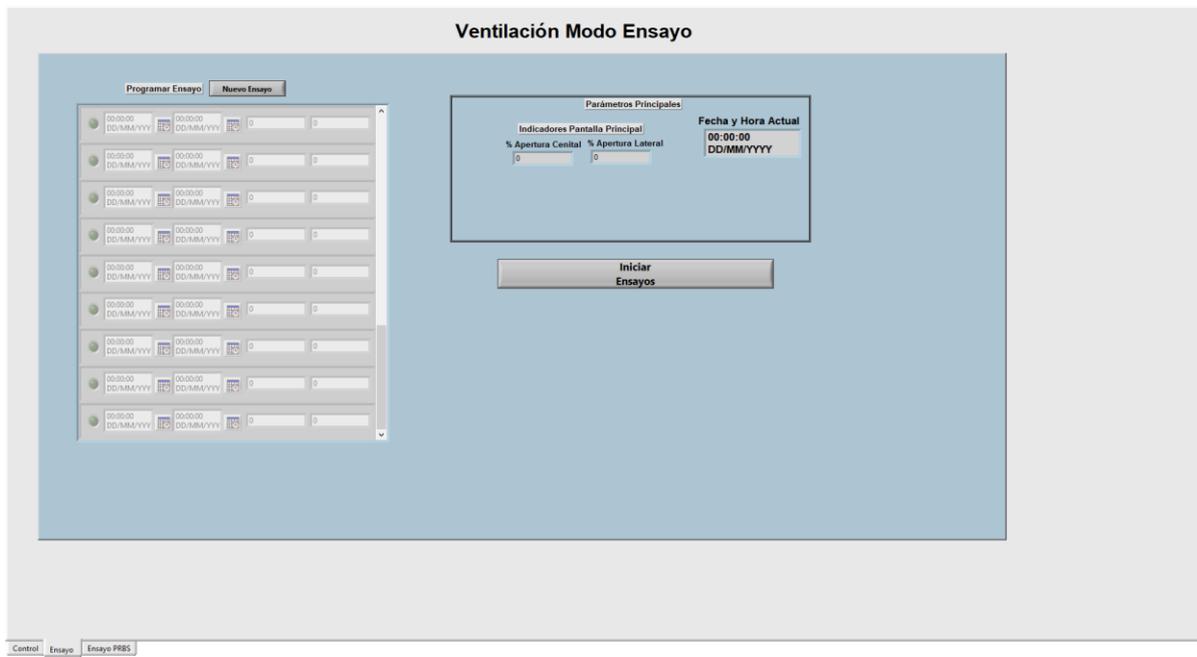


Figura 5.9 Ventilación modo Ensayo

En el submenú de Ensayo PRBS, el operario visualiza el bloque principal que se divide en la programación de ensayos PRBS donde se muestra una tabla que gestiona la programación de ensayos, un interruptor de generación de nuevos ensayos y los parámetros principales donde está la hora y fecha actual y los indicadores de varios parámetros del ensayo como consignas reset, periodo, reset level (min), nivel mínimo (%), amplitud consigna (%), probabilidad de cambio, N° total consignas, periodo mínimo, consigna enviada (cenital), consigna enviada (lateral), minutos restantes, consigna N° y la función de Matlab aplicada al ensayo. Todos estos parámetros formarán los resultados de los ensayos PRBS. A parte en este bloque se encuentra el interruptor de inicio de ensayos. (Ver figura 5.10)

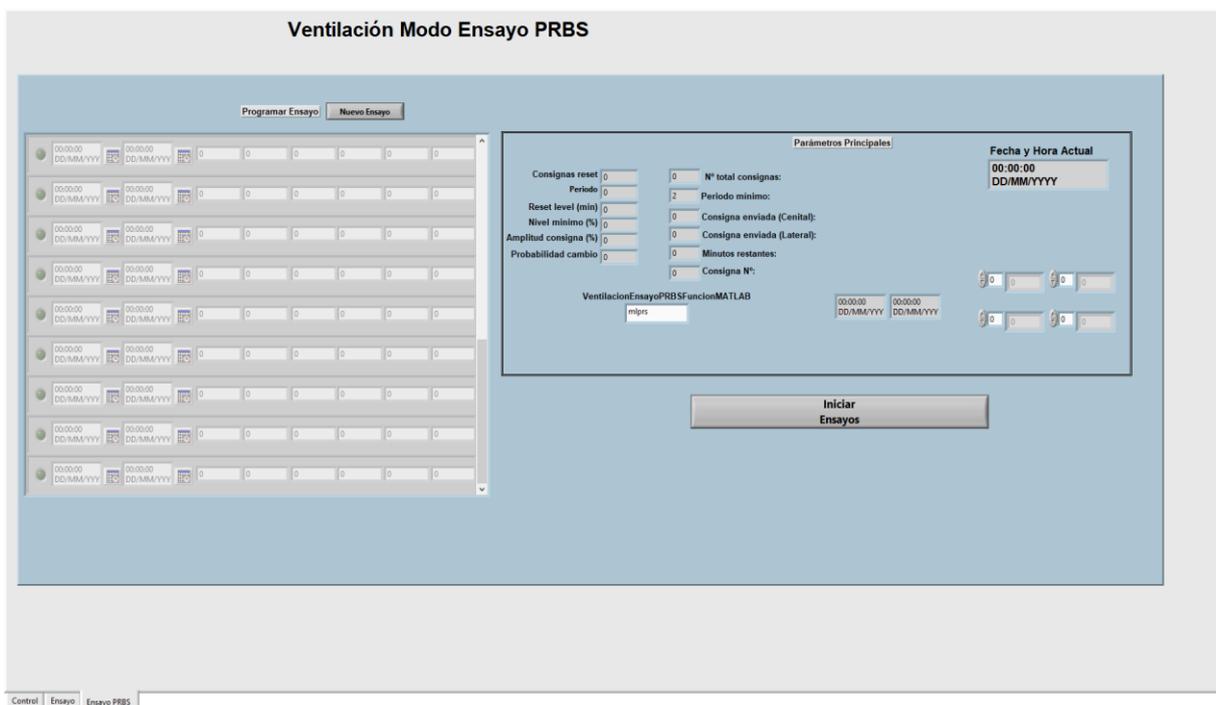


Figura 5.10 Ventilación modo ensayo PRBS

Subsistema Calefacción Aeroterma.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *CALEFACCIÓN AEROTERMA*. Este sistema cuenta con la instalación de un generador de aire caliente alimentado por gas. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante:

- El icono que representa el generador aerotérmico que cuenta con un dispositivo led que se activará cuando el generador entre en funcionamiento. (Ver figura 5.11)

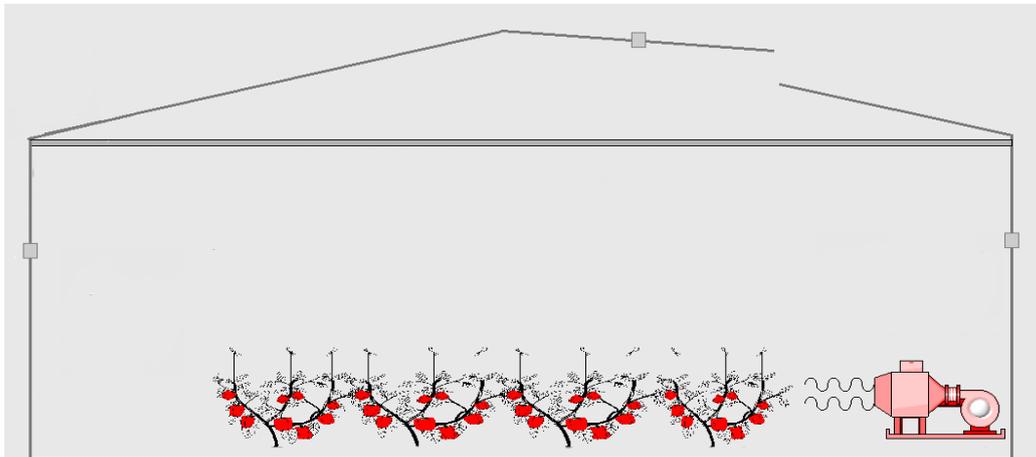


Figura 5.11 Subsistema Calefacción Aeroterma.

Subsistema Calefacción Biomasa.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *CALEFACCIÓN BIOMASA*. Este sistema cuenta con la instalación de una caldera industrial que genera el calentamiento del agua por la combustión de biomasa. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.12):

- El icono que representa la caldera biomasa que cuenta con un dispositivo led que se activará cuando el generador entre en funcionamiento.
- Un icono que representa una válvula junto a un controlador numérico que indicarán la apertura de la válvula y por tanto la cantidad de agua que circula por el sistema.
- Un icono de una motobomba para la distribución del agua con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.
- Red de tuberías que cambiaran el color cuando el agua circule por ellas.

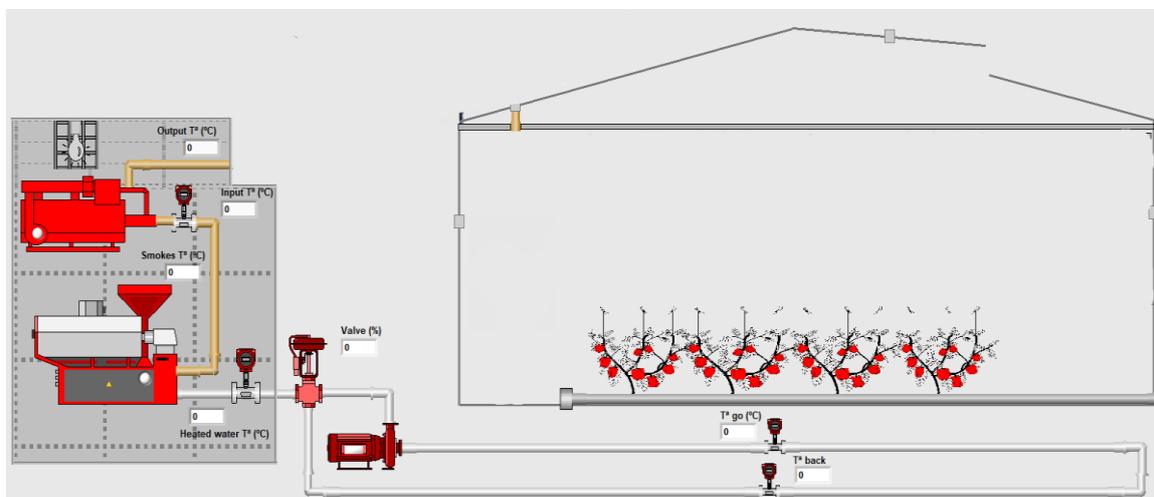


Figura 5.12 Subsistema Calefacción Biomasa.

Subsistema CO₂.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema CO₂. Este sistema cuenta con la instalación de una soplante que comprime y traslada el CO₂ desde la salida de humos de la caldera biomasa hasta el tanque de carbón activo y de una válvula de 3 vías que gestiona el CO₂. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.13):

- Un icono de una motobomba para la distribución del agua con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.
- Un icono de una válvula de riego con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.
- Red de tuberías que cambiaran el color cuando el agua circule por ellas.

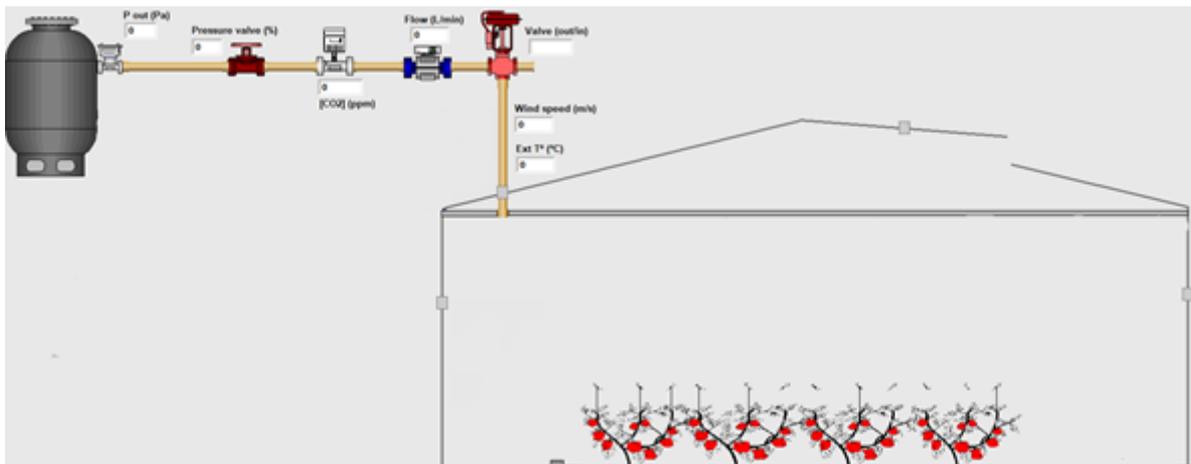


Figura 5.13 Subsistema CO₂.

En el bloque de parámetros modificables del subsistema CO₂ el operario podrá colocar las consignas de control de varias variables (CO₂, Caudal y Flujo másico) difiriendo con los demás subsistemas, es decir, imponer una referencia para cada variable. (Ver figura 5.14a). La visualización y lectura de las actuaciones serán visibles en la parte derecha de la plantilla diseñada (Ver figura 5.14b).

La interfaz de usuario se divide en dos paneles principales:

- Panel (a) Parámetros Modificables:** Incluye pestañas para 'CO₂', 'Caudal' y 'Flujo Másico'. Hay un botón 'Nueva Consigna' y una lista de consigna con valores '00:00' y '0'. Sección de 'Consigna utilizada actualmente' con un valor de '0'. Lista de consigna de control:
 - Consigna de temperatura de humos: 0
 - Consigna de temperatura de tuberías: 0
 - Consigna de presión del tanque: 0
 - CO₂ máximo en la tubería: 0
 - CO₂ mínimo en la tubería: 0
 - Presión mínima en el descenso: 0
 - Presión activación de la soplante: 0
- Panel (b) Indicadores de Actuación:** Muestra el estado de varios componentes con indicadores de luz:
 - Temperatura humos estable: Verde
 - Temperatura tuberías alta: Rojo
 - Día/Noche: Radio botones (Día seleccionado)
 - Descenso: Verde
 - Captura: Verde
 - Estado Válvula 3 Vías: Verde
 - Estado Soplante: Verde

Sección de 'Indicadores de Lectura' con valores de '0':

- Estado Regulador Presión: 0
- Estado Regulador Presión: 0
- Concentración CO₂: 0
- Caudal CO₂: 0
- Flujo Másico: 0
- Señal Control Soplante: 0
- Señal Control Valvula: 0
- Señal Control Regulador: 0

Figura 5.14 Parámetros modificables CO₂ (a) y lectura y visualización de variables (b)

Subsistema Control Riego.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *RIEGO*. Este sistema cuenta con la instalación de una bomba que impulsa el agua a través de la red de tuberías hasta llegar al cultivo. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.15):

- Un icono de una motobomba para la distribución del agua con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.
- Un icono de una válvula de riego con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.
- Red de tuberías que cambiaran el color cuando el agua circule por ellas.

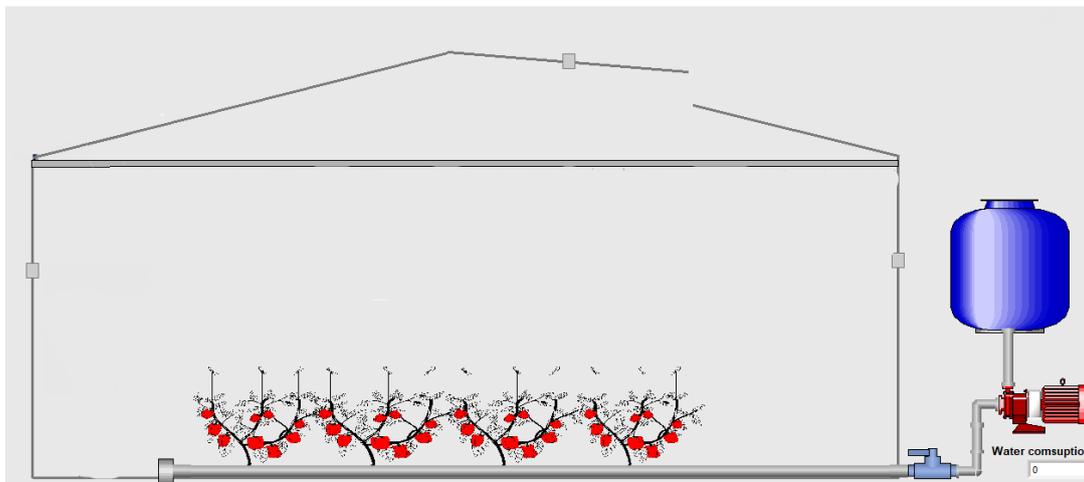


Figura 5.15 Subsistema Riego.

Subsistema Humidificación.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *HUMIDIFICACIÓN*. Este sistema cuenta con la instalación de un sistema de humidificación que impulsa el agua a través de la red de tuberías hasta llegar a los pulverizadores. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.16):

- Iconos de pulverizadores que simulan la humidificación del cultivo con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.

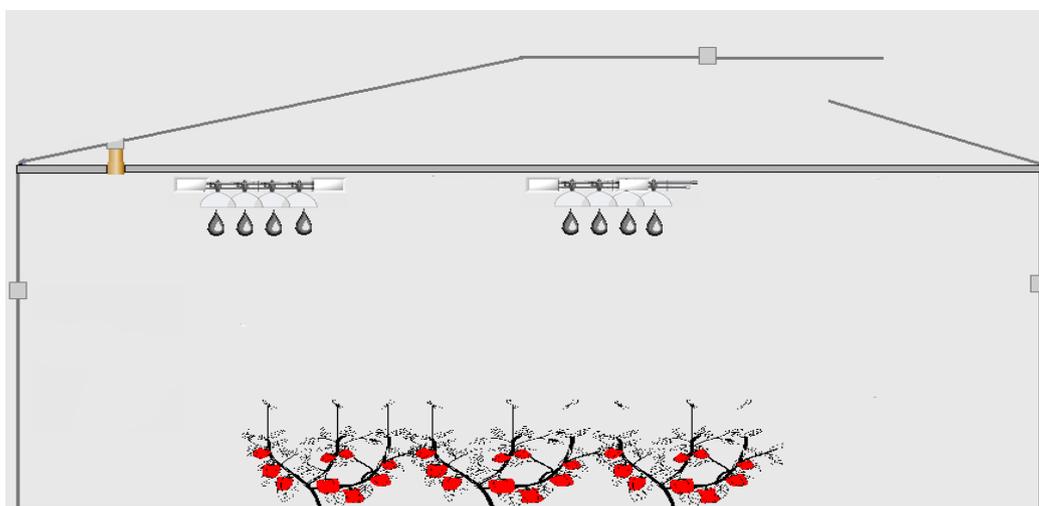


Figura 5.16 Subsistema Humidificación.

Subsistema Deshumidificación.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *DESHUMIDIFICACIÓN*. Este sistema cuenta con la instalación de un sistema de deshumidificación que extrae la humedad del aire mediante su enfriamiento por debajo del punto de rocío, provocando su condensación. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.17):

- Iconos de una deshumidificadora que simulan la deshumidificación del cultivo con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.

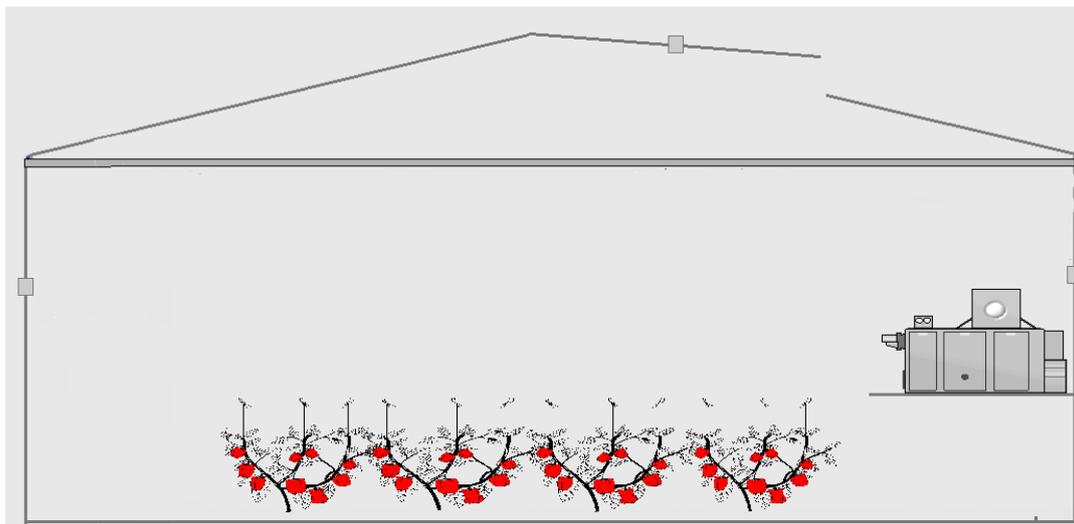


Figura 5.17 Subsistema Deshumidificación.

Subsistema Luz Artificial.

El siguiente sistema a especificar es el subsistema *LUZ ARTIFICIAL*. Este sistema cuenta con la instalación de un sistema de luz artificial que proporciona la luz necesaria en horarios nocturnos. En el sinóptico general de la Pantalla Principal, el operario podrá visualizar este subsistema mediante (Ver figura 5.18):

- Icono de luz artificial que simulan el sistema de luz artificial para el cultivo con un dispositivo led que se activará cuando esta entre en funcionamiento.

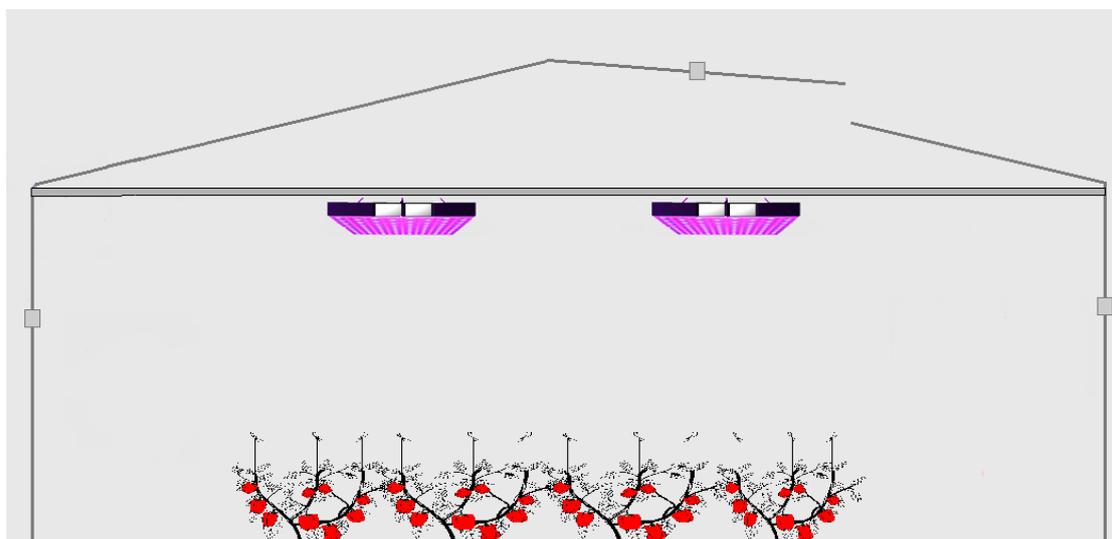


Figura 5.18 Subsistema Luz Artificial.

5.1.3 Control de accesos

En el sistema de SCADA implantado en la estación experimental ha sido incorporado un sistema de control de acceso a usuarios que permitirá tener una seguridad dentro de la configuración limitando el acceso al submenú de configuración y controles. El nivel de acceso será establecido en 2 niveles; el primer nivel de acceso será el nivel de invitado y permitirá navegación entre pantallas y visualización de las variables en el sinóptico principal y en el menú de análisis donde se representan de forma gráfica, mientras que el segundo nivel o nivel de administrador, será aquel que mediante unas credenciales tenga acceso a la modificación de elementos dentro del sistema SCADA.

El usuario invitado será establecido al inicio de la ejecución y su estado será reconocible el led de “Sesión de invitado” que se iluminará. El operario administrador al colocar sus credenciales será desplazado al submenú de configuración de forma automática donde se le permitirá tener acceso a la modificación de parámetros del sistema SCADA. Para ello deberá ingresar dichos credenciales en el panel de acceso a usuarios (Ver figura 5.19) e iniciar sesión a través del interruptor “iniciar sesión”.

Una vez se inicie la sesión de administrador, se creará un registro de acceso llamado “sesión.txt” que permitirá ver la fecha y hora de entrada al panel de configuración aumentando así el control en el sistema.



Figura 5.19 Panel de acceso

Si el usuario y contraseña es la correspondiente al administrador, el menú de configuración será accesible para cualquier modificación y el led de sesión iniciada se activará mientras que la sesión de invitado se cerrará. (Ver figura 5.20).

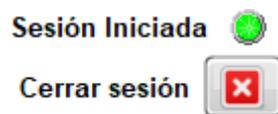


Figura 5.20 Sesión iniciada

Sin embargo, si cualquiera de las credenciales, usuario o contraseña, fueran erróneas, el sistema mostrará un mensaje de error que deberá ser confirmado para poder continuar (Ver figura 5.21).

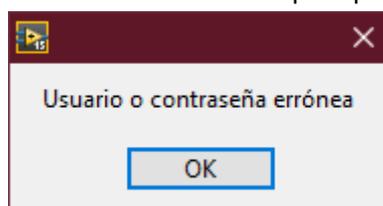


Figura 5.21 Mensaje de usuario o contraseña errónea

Los permisos que concede la acreditación de administrador serán:

- Permisos para navegación entre pantallas principales y uso de controles principales de procesos.
- Permisos para acceso a controles manuales, configuración de consignas (setpoints) y configuración de procesos.
- Permisos para acceso a pantalla configuración de sistema.
- Modificación y creación de nuevas variables.
- Asignación de número de Fieldpoint, tarjeta y canal a las variables del proceso.
- Modificación de los tiempos de lectura.
- Modificación de los valores leídos.
- Modificación de las opciones de escritura.
- Posibilidad de añadir y suprimir sistemas.

El operario con credenciales de administrador puede salir del sistema de configuración de forma manual pulsando el interruptor “Cerrar sesión” de la pantalla configuración y automáticamente la sesión de invitado volverá a iniciarse.

5.1.4 Gestión de nuevos subsistemas

Una de las opciones más importantes incluidas en esta mejora del sistema SCADA ha sido la programación de un procedimiento para la gestión de subsistemas. Esta mejora ha sido diseñada con la posibilidad de añadir y/o suprimir subsistemas en la instalación. Esta opción ha sido programada para facilitar la incorporación de nuevos sistemas, es decir, actuadores, sensores, válvulas, etc...de forma inmediata ya que la programación se encuentra realizada en el entorno de programación gráfica de *LabVIEW*. La única acción requerida sería añadir la comunicación física de los elementos del sistema (actuadores, señores) con los módulos de E/S de los Fieldpoints que establecen la conexión de red para poder recibir la información en el sinóptico general. Serán necesarios los credenciales de administrador para poder interactuar con el módulo de modificación de subsistemas.

A continuación, se muestran las acciones y pasos que el operario administrador deberá realizar para la gestión de subsistemas:

1. El operario deberá ingresar los credenciales de administrador en el menú de configuración e iniciar sesión desplazándose automáticamente al acceso a la modificación de los parámetros (Ver figura 5.22).



Figura 5.22 Ingreso de credenciales de administrador

- Una vez en el submenú de configuración el operario podrá visualizar la siguiente distribución. (Ver figura 5.23). *La parte de gestión de sistemas se encuentra rodeada de un rectángulo rojo.

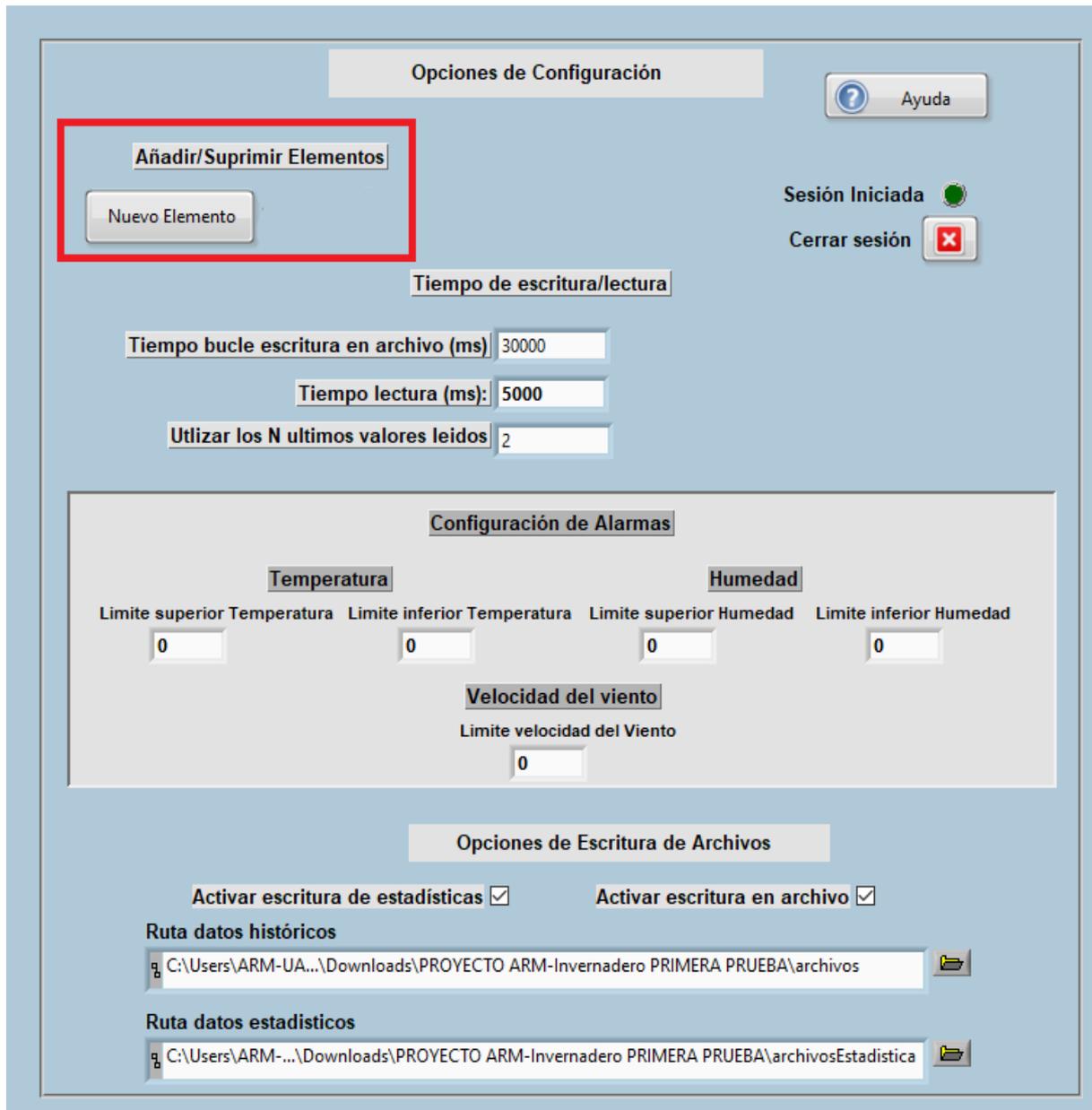


Figura 5.23 Pantalla configuración.

- La gestión de sistemas aparecerá como se mostraba en la figura anterior. La acción de añadir un nuevo sistema hará que de forma automática se presente al lado del botón “Nuevo Elemento”, el botón de “Suprimir Elemento” que tiene la misión de eliminar el sistema creado con anterioridad por el operario (Ver figura 5.24).



Figura 5.24 Añadir/Suprimir Subsistemas

- El primer subsistema creado en la barra de submenús de Subsistemas al presionar el botón de “Nuevo Elemento” será “Nuevo Subsistema1” y seguirá la misma plantilla de distribución que los demás subsistemas creados en el anterior SCADA implantado con el fin de mantener la arquitectura y facilitar la operatividad del encargado de planta (Ver figura 5.25).

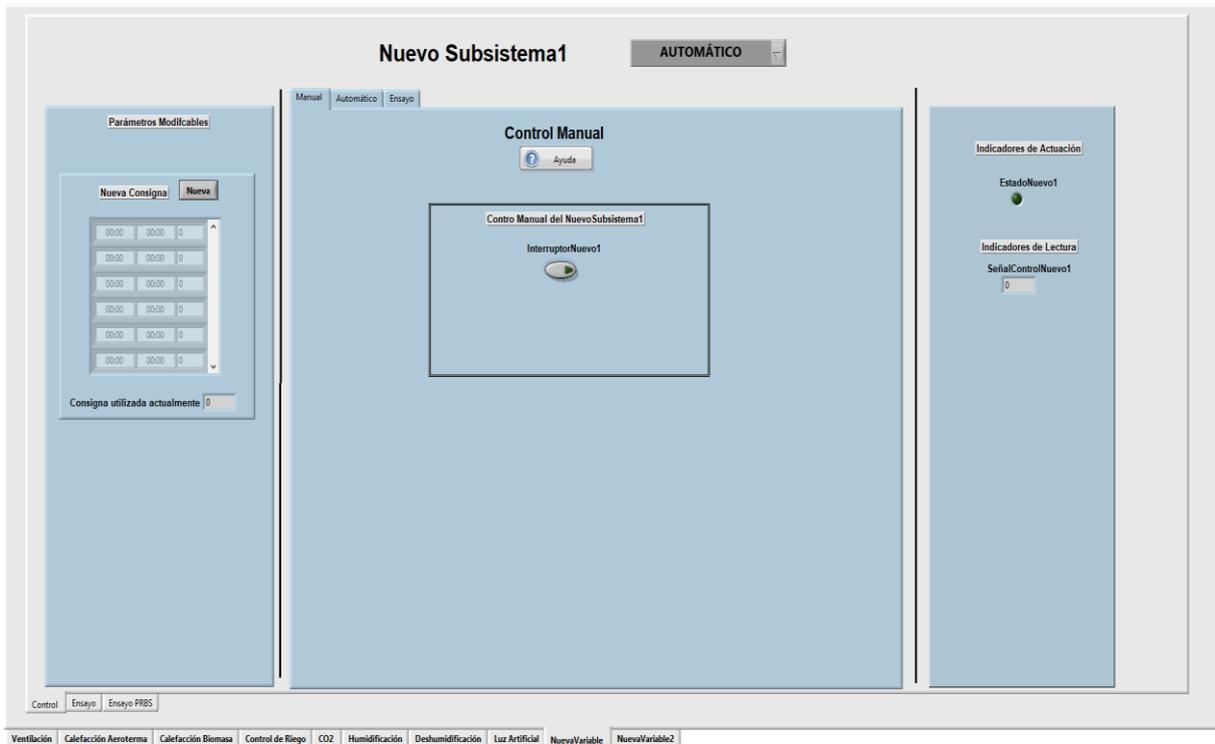


Figura 5.25 Subsistema añadido 1.

- Al presionar el operario de nuevo el botón “Nuevo Elemento” se añadirá otro subsistema, esta vez será “Nuevo Subsistema2” y seguirá la misma distribución que todos los subsistemas creados. (Ver figura 5.26).

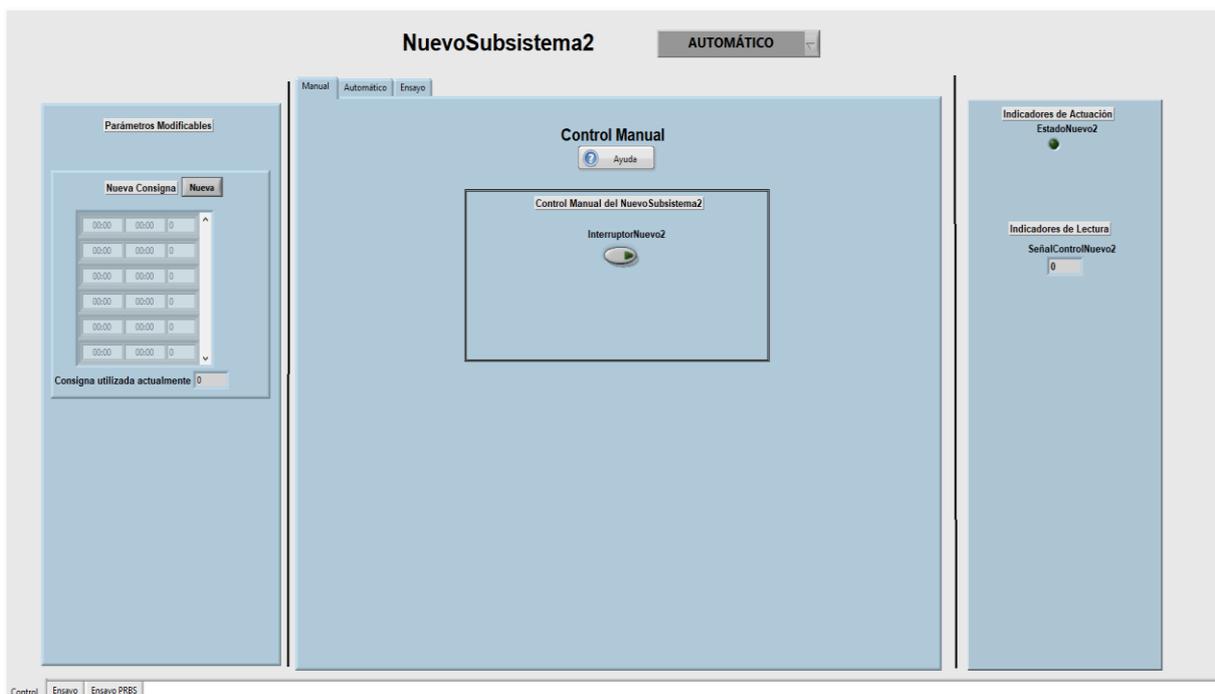


Figura 5.26 Subsistema añadido 2

- La posibilidad de suprimir subsistemas en esta mejora del sistema SCADA se podrá realizar mediante el botón de “Suprimir Elemento” mediante el cual el operario puede retornar la cantidad de sistemas al original (Ver figura 5.27).

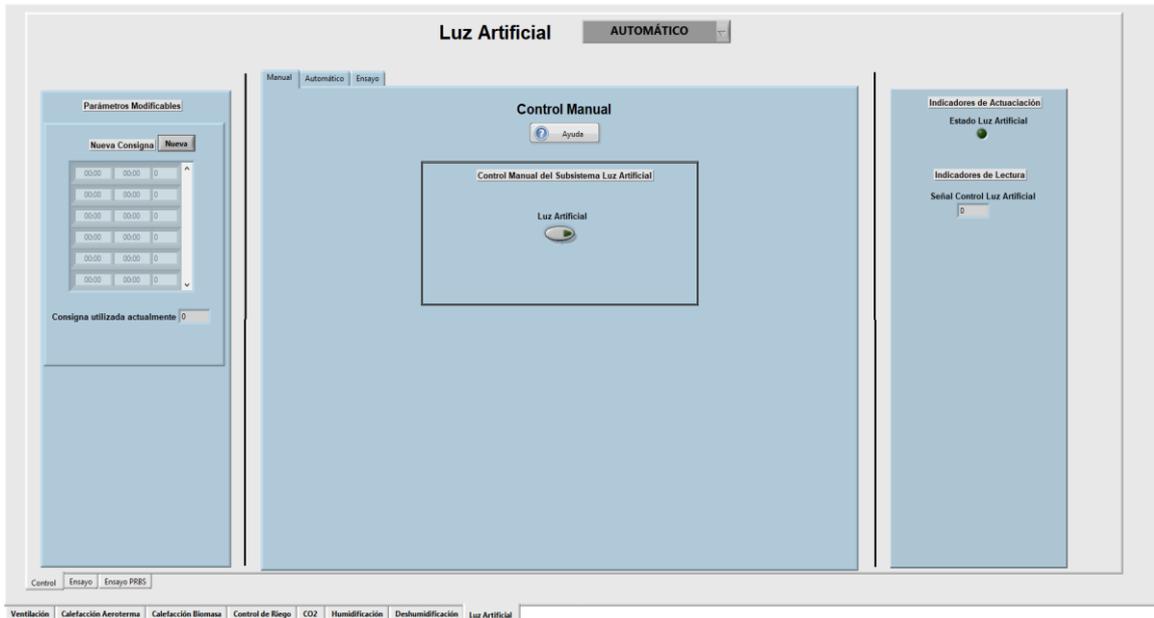


Figura 5.27 Subsistemas originales

5.1.5 Configuración

El sistema de SCADA implementado en la estación experimental “Las palmerillas” incorpora un menú de configuración que en este proyecto de mejora ha sido modificado y limitado por un sistema de control de acceso a usuarios que permitirá tener una seguridad dentro de la configuración limitando el acceso a cierta configuración y controles. Una vez iniciada la sesión, la nueva pantalla configuración aparecerá en el sistema SCADA dando la posibilidad de modificar los parámetros deseados por el administrador (Ver figura 5.28).

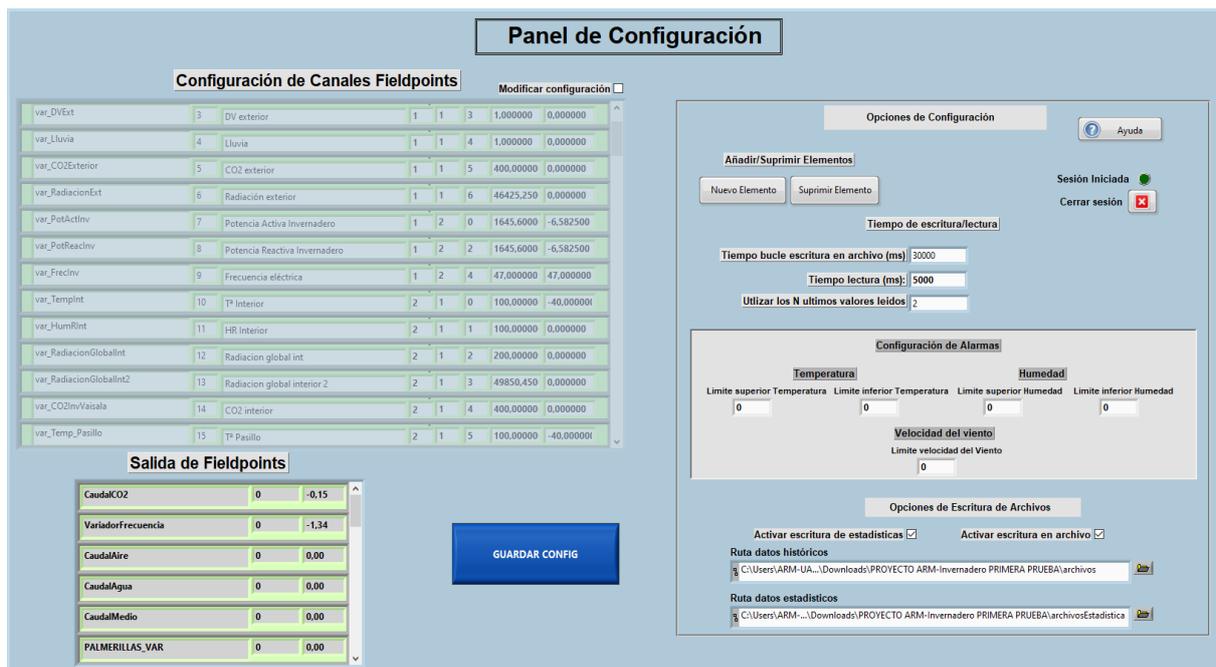


Figura 5.28 Nuevo menú de Configuración.

La pantalla configuración seguirá una nueva distribución para facilitar al operario administrador las labores que puede realizar en este submenú. La nueva distribución se divide en dos zonas, la primera consta de las tablas de configuración y salidas de los FieldPoints (Ver figura 5.29) la cual ha sido modificada para la nueva configuración instalada en la planta y la tabla de Salida de Fieldpoints (Ver figura 5.30).

var_DVExt	3	DV exterior	1	1	3	1,000000	0,000000
var_Lluvia	4	Lluvia	1	1	4	1,000000	0,000000
var_CO2Exterior	5	CO2 exterior	1	1	5	400,00000	0,000000
var_RadiacionExt	6	Radiación exterior	1	1	6	46425,250	0,000000
var_PotActInv	7	Potencia Activa Invernadero	1	2	0	1645,6000	-6,582500
var_PotReaInv	8	Potencia Reactiva Invernadero	1	2	2	1645,6000	-6,582500
var_Freclnv	9	Frecuencia eléctrica	1	2	4	47,000000	47,000000
var_Templnt	10	Tª Interior	2	1	0	100,00000	-40,000000
var_HumRInt	11	HR Interior	2	1	1	100,00000	0,000000
var_RadiacionGlobalInt	12	Radiacion global int	2	1	2	200,00000	0,000000
var_RadiacionGlobalInt2	13	Radiacion global interior 2	2	1	3	49850,450	0,000000
var_CO2InvVaisala	14	CO2 interior	2	1	4	400,00000	0,000000
var_Temp_Pasillo	15	Tª Pasillo	2	1	5	100,00000	-40,000000

Figura 5.29 Configuración de variables

Salida de Fieldpoints

CaudalCO2	0	-0,15
VariadorFrecuencia	0	-1,34
CaudalAire	0	0,00
CaudalAgua	0	0,00

Figura 5.30 Salida de Fieldpoints

La segunda zona será las opciones de configuración modificables por el operario administrador (Ver figura 5.31). En esta nueva distribución del submenú se mostrará la sesión iniciada con credenciales de administrador mediante la activación del led de “sesión iniciada” y la posibilidad de cerrar la sesión para evitar modificaciones no deseadas. Otra opción que viene por defecto en estas opciones de configuración es la posibilidad de habilitar la modificación de los canales de los FieldPoints así como las variables. La opción de guardar configuración permite guardar todas las modificaciones realizadas por el operario en un archivo “opciones de configuración.ini”.

Los tiempos de lectura y escritura serán modificables en esta configuración. Estos tiempos marcan la constante de tiempo con la cual el bucle de control se ejecuta, es decir, en cuanto tiempo la acción de lectura de sensores se realiza. Las opciones de escritura son las responsables de guardar los datos generados de todos los sistemas en un archivo “.txt” para su posterior estudio. Este tipo de datos son muy útiles para el posterior estudio de los sistemas ya que permite conocer todas las alteraciones que se producen en el interior del invernadero. Estos datos son redirigidos por los controles “ruta datos históricos” y “ruta datos estadísticos” que son los encargados de guardar los archivos en la ubicación deseada por el operario. Las nuevas incorporaciones en este submenú son: la gestión de sistemas anteriormente descritos y la configuración de alarmas, la cual permite imponer los rangos superiores o inferiores de las variables (temperatura, humedad y velocidad del viento) que se desean limitar.

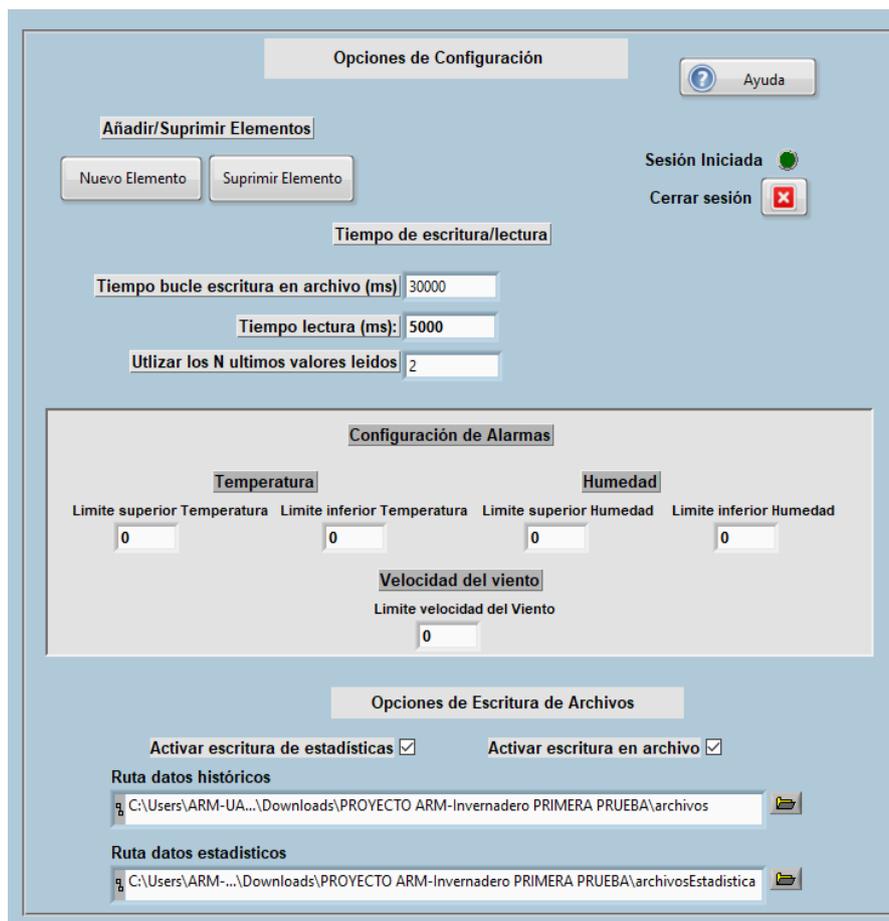


Figura 5.31 Panel de Configuración

5.1.6 Análisis

Una mejora importante dentro de este proyecto, ha sido la incorporación del menú de Análisis. Este menú permitirá la visualización de gráficas de tendencias de las variables controladas así como tablas con valores numéricos de dichas variables para un mejor entendimiento por parte del operario. Por otra parte se podrá ver y tener un conocimiento del registro de alarmas.

Este menú consta con un total de 8 gráficas y 2 tablas de datos (Ver figura 5.32). La decisión de dividir en tal cantidad de gráficas las variables seleccionadas es por la simplicidad y la claridad en la representación de las variables. Todas las gráficas del sistema SCADA contarán con las mismas características.

El eje de abscisa representará la variable tiempo y se utilizarán los ejes de coordenadas de la izquierda para presentar los valores obtenidos de los sensores medidos en sus magnitudes. Un ejemplo de gráfica es la mostrada en la figura 5.33 que representa la humedad exterior e interior del invernadero.

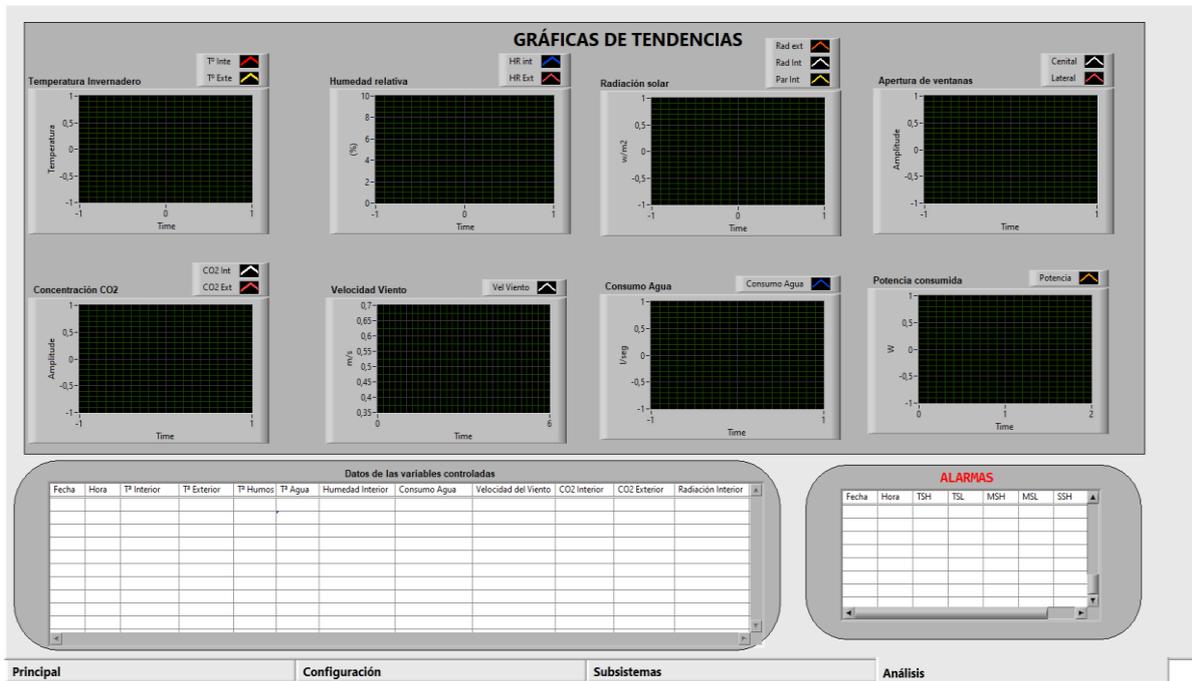


Figura 5.32 Menú análisis

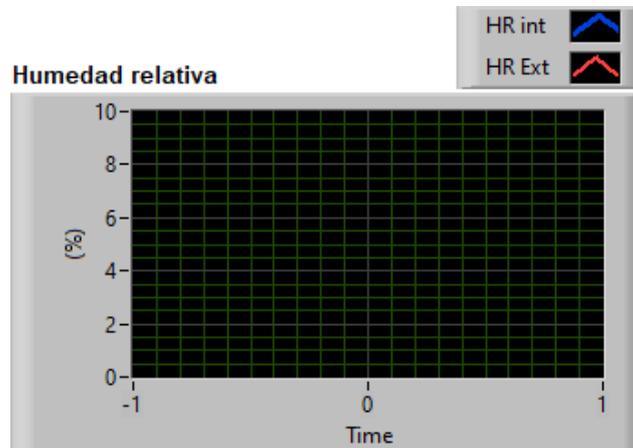


Figura 5.33 Gráfica de tendencias de la Humedad

Las variables representadas en las gráficas de tendencias son:

- Temperatura interior y exterior del invernadero.
- la humedad relativa interna.
- la radiación global interna y externa y la radiación PAR interna.
- Apertura de ventanas cenital y lateral.
- Concentración interior y exterior de CO₂
- Velocidad del viento.
- Consumo de agua.
- Potencia en watios consumida.

A modo de ejemplo se muestra la activación de una alarma por humedad relativa alta (Ver figura 5.35b).

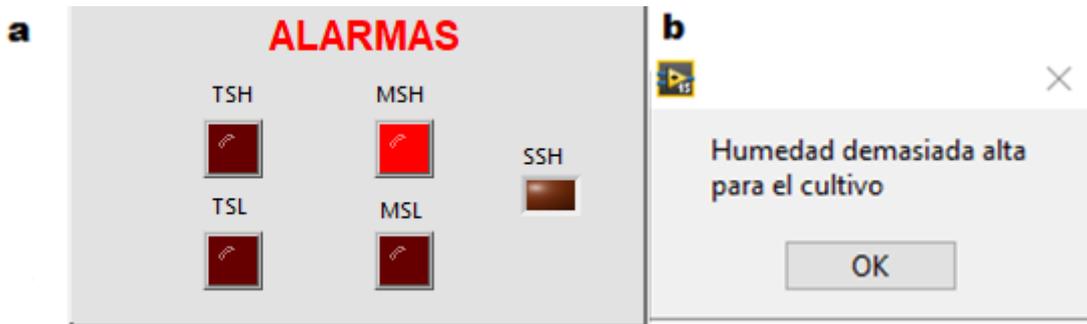


Figura 5.36 Alarma HR activada (a) y mensaje de alarma (b)

Todos los registros de alarmas se serán visualizadas de forma numérica en la tabla de datos. En esta tabla “Alarmas” se recogerán los datos numéricos de las alarmas activas y la fecha y hora de su activación.

ALARMAS

Fecha	Hora	TSH	TSL	MSH	MSL	SSH

Figura 5.37 Alarmas

5.2 Puesta en marcha y comprobación de funcionamiento.

El funcionamiento del sistema SCADA no ha podido realizarse por completo en la planta real por la situación que ha vivido España durante los primeros meses del año 2020. La situación instaurada en el Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 [60] ha frenado la prueba final en el invernadero de la estación experimental de “Las Palmerillas”. Si bien es cierto, la plataforma actual instalada y utilizada en la planta cuenta con una reorganización parcial de la programación y cuenta también con la programación del subsistema de luz artificial que junto a la reordenación fueron los primeros pasos para este proyecto.

Las pruebas realizadas remotamente en el sistema instalado en la planta han llevado al proyecto a una serie de modificaciones en la programación encargada de la adquisición y escritura de datos. Estas modificaciones consistieron en la reestructuración de la configuración de lectura y escritura de los Fieldpoints realizándose mediante la modificación de los VI o instrumentos virtuales asociados a esos procesos.

El resultado de la modificación ha sido la correcta vinculación de los dispositivos de adquisición de datos y el sistema SCADA como muestra la siguiente figura 5.38 y 5.39 dónde se puede apreciar la lectura de las variables en el sinóptico general y en las gráficas de tendencias de variables del invernadero.

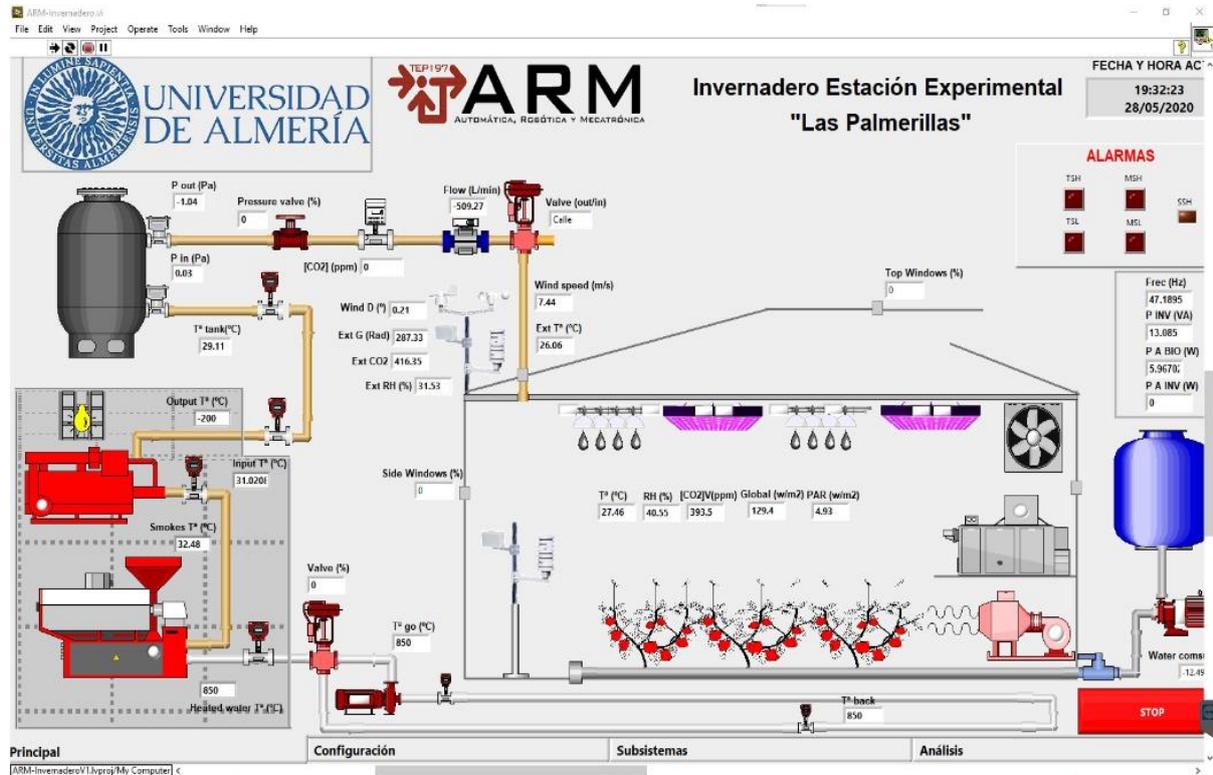


Figura 5.38 Lecturas en el sinóptico general

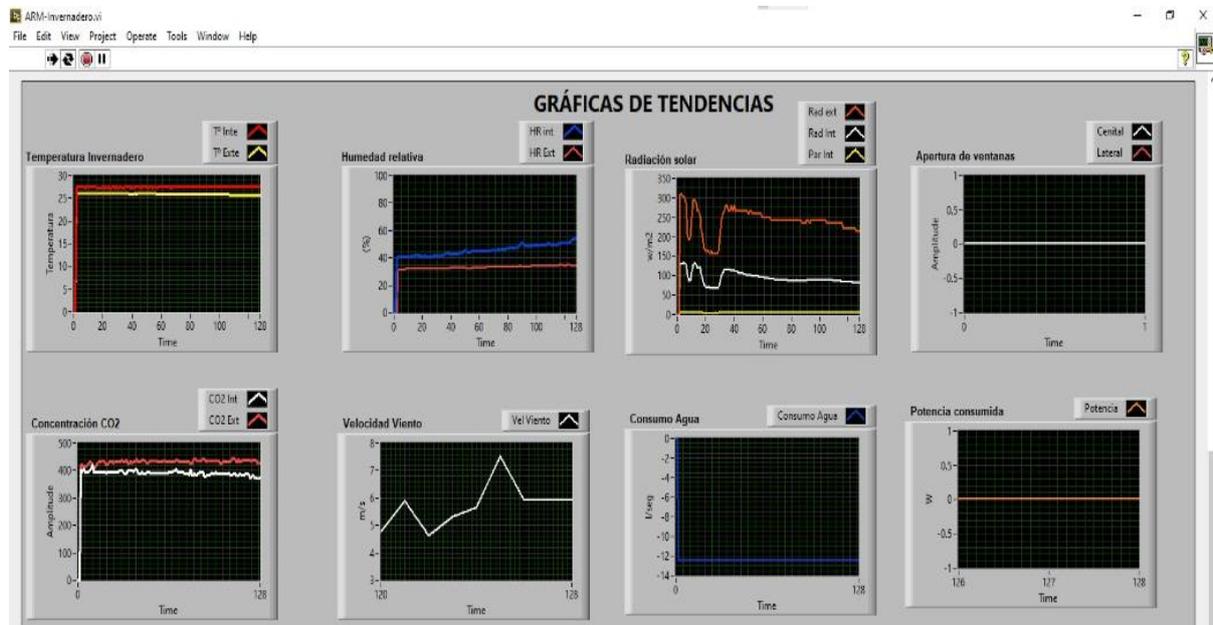


Figura 5.39 Lectura de las variables en gráficas.

Una vez realizada la puesta en marcha, se ha realizado la comprobación de funcionamiento en actuadores, concretamente, se ha llevado a cabo en el sistema de control de la ventilación cenital y lateral ya que actualmente es el que se encuentra totalmente operativo en la planta.

Esta prueba se realizó mediante la instauración de consignas de apertura y cierre en las ventanas del invernadero comprobando a través del software de NI MAX, el envío de señal a los Fieldpoints. (Ver figura 5.40) y de los leds de apertura y cierre de las ventanas, los cuales, indican un estado de activación de los actuadores.

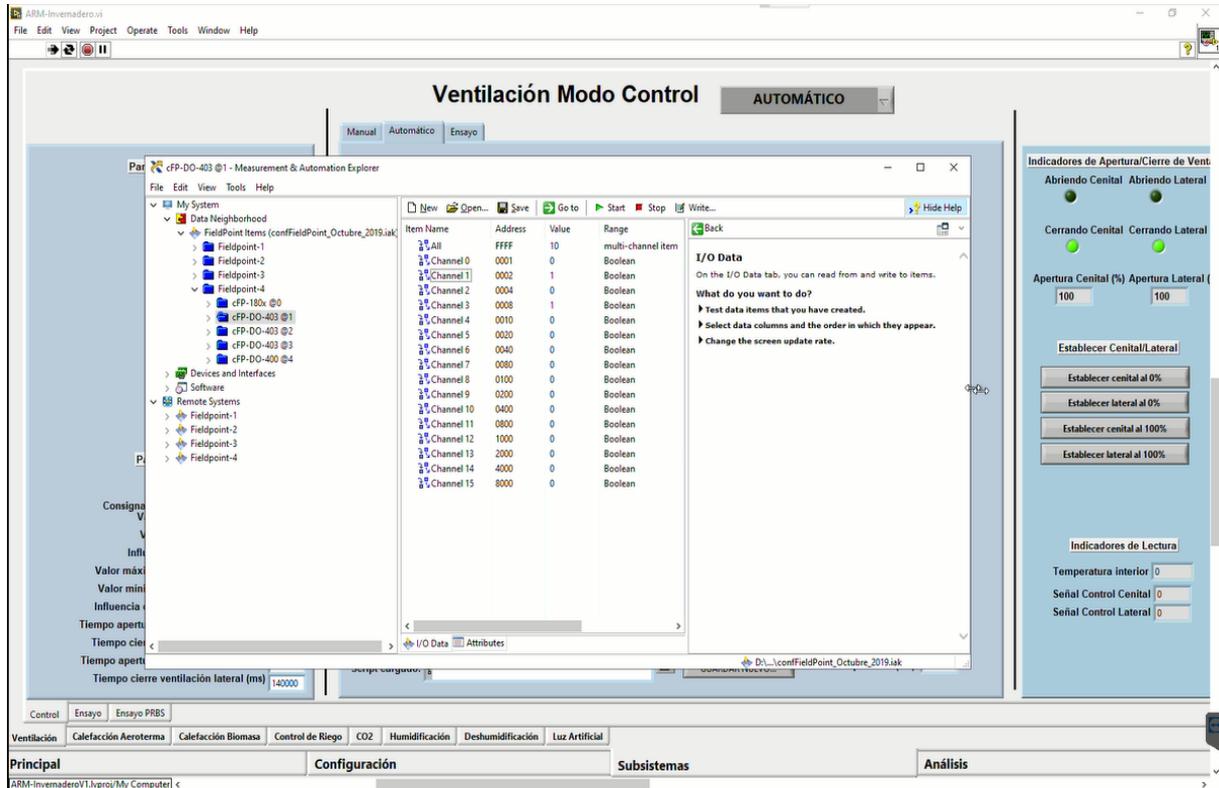


Figura 5.40 Envío de señal a los Fieldpoints.

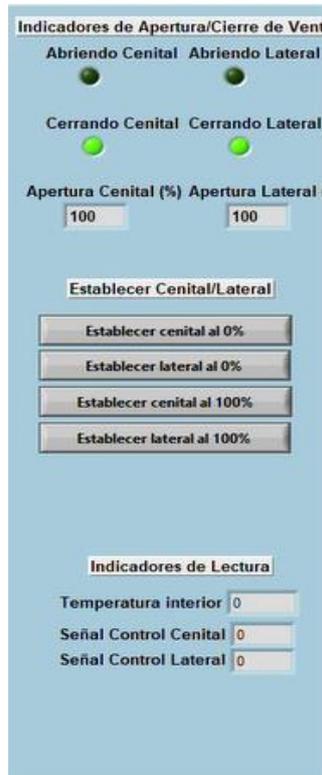


Figura 5.41 Indicación Leds de cierre lateral/cenital

5.3 Evaluación de la herramienta SCADA por los supervisores de la planta.

Ante la imposibilidad de la comprobación real del sistema en la planta, la evaluación de la herramienta bajo las indicaciones de la guía *GEDIS*, fue transmitida a un operario que había interactuado con ella durante un tiempo prolongado. Tras las conversaciones y visualización del nuevo sistema SCADA, se ha obtenido retroalimentación acerca de la interfaz pudiendo obtener una valoración y tener una visión amplia de los objetivos alcanzados y aquellos aspectos a mejorar. Los detalles que desde el punto de vista del supervisor de planta deberían ser modificados son:

- Los colores de alarmas no terminan de ser claros. Por factores limitantes como el viento, no es posible una diferenciación en cuanto rango de peligrosidad aunque las nuevas actualizaciones comprenderán un rango de alarmas.
- Por el tamaño de la toma de datos, el operario muestra interés en que el recorrido del gráfico de las variables sea visible durante 24 horas.
- La ventana de alarmas debería ser más visible y no encontrarse en el menú análisis.
- Añadir las variables de humedad del interior de la zona del pasillo en la interfaz principal.

En general, los resultados obtenidos en la evaluación han sido buenos y la respuesta del operario encargado de evaluarla ante el nuevo sistema SCADA ha sido aceptable. La guía de evaluación que fue pasada por un encargado de planta deja la siguiente evaluación (Ver tabla 5.5 Guía de Evaluación y tabla 5.6 Guía de Evaluación (continuación)).

Elemento	Valor	Comentario
1. Arquitectura	4,3	
1.1 Correspondencia con la planta	4	
1.2 Número de capas	4	
1.3 División: planta, área, subárea, equipo	5	
2. Distribución	3,7	
2.1 Consistencia	4	
2.2 Densidad	4	
2.3 Simetría y balance	3	Falta simetría y balance en la pantalla principal
3. Navegación	4	
3.1 Correspondencia con la arquitectura	4	
3.2 Accesibilidad	4	
3.3 Consistencia	4	
4. Color	4,4	
4.1 Ausencia de combinaciones no apropiadas	5	
4.2 Número de colores	5	
4.3 Ausencia de intermitencias	5	
4.4 Uso de colores típicos (rojo, verde, amarillo)	3	En alarmas, rojo y verde se aplican correctamente, faltaría amarillo
4.5 Relación con texto	4	

Tabla 5.5 Guía de evaluación

Elemento	Valor	Comentario
5. Texto	3,8	
5.1 Número de fuentes	3	Se usa la misma fuente, pero en más de 3 tamaños distintos
5.2 Ausencia de fuentes pequeñas (mínimo 8)	3	Se usa un tamaño de fuente superior a 8, pero en algunas pantallas puede resultar pequeño
5.3 Ausencia de combinaciones no apropiadas	3	Hay alineamientos verticales entre texto y números
5.4 Uso de abreviaciones	5	
5.5 Coloración del texto	5	
6. Estado de dispositivos	4,5	
6.1 Símbolos e iconos uniformes	4	
6.2 Representación del estado del equipo	5	
7. Valores de proceso	4	
7.1 Visibilidad	4	
7.2 Localización	4	
8. Gráficos y tablas	4,25	
8.1 Formato	3	Debería permitir al operador cambiar el tamaño del eje temporal
8.2 Visibilidad	4	
8.3 Localización	5	
8.4 Agrupación	5	
9. Comandos de entrada de datos	4	
9.1 Visibilidad	3	Algunos comandos de acciones críticas deben indicarse mejor
9.2 Uso	4	
9.3 Retroalimentación	5	
10. Alarmas	3,4	
10.1 Visibilidad de la ventana de alarmas	3	Está incluida dentro de “análisis”
10.2 Accesibilidad de la ventana de alarmas	4	
10.3 Ubicación de la ventana de alarmas	4	
10.4 Informatividad de los textos de alarmas	3	
10.5 Visibilidad de alarmas en sinópticos	2	Las alarmas deberían ocupar un espacio más centrado en el sinóptico
10.6 Facilidad de reconocimiento	3	Sólo se muestra por etiquetas
10.7 Consistencia	5	
Evaluación Global	4	

Tabla 5.6 Guía de evaluación (Continuación)

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

Un sistema de supervisión y control remoto de un invernadero para la mejora de la producción del cultivo es, sin duda, un proyecto de gran importancia en la industria hortícola. En tiempos donde prima la producción con el fin de conseguir un gran beneficio económico, este tipo de instalación presta garantías de que la tecnología avanza en buena dirección a favor del agricultor. Estas garantías aumentan si la ubicación del proyecto como es el caso se realiza en la cuna de la agricultura bajo el plástico de Europa, Almería. Es en esta provincia donde se produce la mayor producción de hortalizas de Europa. Este proyecto presenta diferentes objetivos que han sido alcanzados en su totalidad.

Como se planteó en un principio, se ha mejorado la interfaz gráfica de supervisión y control que estaba instalada para ampliar el rango de visibilidad y claridad al operario, se ha instaurado un sistema configurable de alarmas para el control de las condiciones de las variables, se han incorporado la programación de un nuevo sistema a la planta (luz artificial), se ha programado el menú análisis ubicando en él las gráficas de tendencias y registros de alarma, se introduce un nuevo control de accesos al sistema con el fin de proteger el acceso a la configuración de los parámetros más importantes de la planta y se ha realizado una mejora reordenando la programación de los sistemas del SCADA para mayor claridad en la ventana de programación. Estas mejoras provocan en el SCADA un mejor aspecto estético y mayor claridad en los espacios dedicados a los procesos y sistemas, una mayor protección en la configuración y un mayor conocimiento en los estados del sistema.

La mejora de la interfaz incluye gráficos que se corresponden fielmente con los equipos de planta aportando leds de simulación de funcionamiento real del sistema. El diseño del sistema SCADA, sigue un patrón para las pantallas dando una imagen sólida y consistente. Estas plantillas en las que se apoya la programación del sistema SCADA han sido diseñadas para tener una claridad y fácil accesibilidad a la totalidad del sistema. Esta nueva interfaz aporta una mayor visibilidad al proceso, permite reducir el coste de aprendizaje y comprensión del personal de planta y aumenta la calidad del producto final.

Con la incorporación a la planta del subsistema de luz artificial y la posibilidad de añadir o suprimir nuevos elementos de forma rápida se conseguirá tener una mayor versatilidad en cuanto a las opciones de control del cultivo ya que se podrá incorporar en función de las necesidades de estos, dispositivos actuadores o sensores que ayuden a mejorar la productividad.

Otra parte importante incorporada a las mejoras será el control de accesos que ha sido programada de tal forma que a través de unos credenciales será la forma de conceder permisos al operario de modificación de parámetros en el menú de configuración.

Añadir el menú análisis, situado en la última ventana de los menús del sistema SCADA, significa una mejora importante dentro del proyecto. En este menú es donde se van a producir un registro de las variables de forma gráfica y numérica a través de gráficas y tablas de control. La información mostrada es más clara, pudiendo visualizar el estado de cada elemento en el transcurso del tiempo. Esto permitirá tener un registro de datos que facilitará a los operarios de planta, ingenieros y responsables del centro conocer el comportamiento de los cultivos a lo largo del tiempo de manera visual.

Las alarmas creadas para este sistema SCADA se basan en las variables de temperatura, humedad y velocidad del viento. Las dos primeras, son factores fundamentales en el crecimiento del cultivo. Con la implantación del sistema de alarmas, el operario podrá conocer situaciones anómalas producidas en el interior del invernadero debido a cambios bruscos en las variables de control y a su vez permitirá establecer los límites de los rangos de las alarmas de forma rápida. Esto conlleva a una mejora sustancial ya que la posibilidad de alternar configuraciones de distintos tipos de rangos de alarmas da lugar a varias situaciones beneficiosas: cultivar diferentes tipos de cultivo dentro del invernadero ya que no todos necesitan las mismas condiciones climáticas para tener un aumento en su crecimiento y la posibilidad de variar esos límites adecuándose a situaciones anómalas en cuanto al tiempo se refiere, por ejemplo, en estaciones más calurosas de lo normal.

Otra gran ventaja ofrecida es el conocimiento visual numérico de las variables que permitirán al operario en la planta conocer con exactitud de tiempo y valor el dato leído por los dispositivos de adquisición de datos. Por último, objetivo importante cuando comenzó el proyecto fue la reubicación de la programación con dos fines, el primero, un entendimiento total del sistema y con dicho objetivo facilitar la comprensión al personal que tuviese que trabajar en el sistema y el segundo y quizás más importante, tener constancia de un mapa de programación para futuras mejoras. El objetivo ha sido cumplido ya que el sistema ha sido reprogramado y ubicado de tal manera que no deje lugar a dudas y se deja un mapa de ubicaciones en el Anexo II Plantilla de programación para su uso posterior. Todos estos objetivos de programación se han cumplido y han sido desarrollados mediante gestión de eventos en la versión implantada anteriormente en la planta.

El software de *National Instruments, Labview* ha dejado aspectos positivos. Algunos de los problemas encontrados han sido fallos en la comunicación como el direccionamiento de IP que se resolvieron alargando los periodos establecidos de trabajo. Otro aspecto a tener en cuenta en futuras mejoras de la planta es que la versión de *Labview* debe ser la instalada actualmente ya que la compatibilidad con los dispositivos físicos Fieldpoints no funcionarán con una versión posterior por lo que los avances incluidos en versiones posteriores no podrán ser añadidos a la programación de este proyecto a no ser que se adapte a la versión implantada. Debido al estado de alarma declarado en el Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo que ha provocado el confinamiento de la población española y ha llevado al cierre de la gran mayoría de empresa el resultado final no ha sido posible comprobar completamente quedando una situación agrídulce del proyecto final. La plataforma actual instalada y utilizada en la estación experimental de “Las Palmerillas” ya cuenta con una reorganización parcial de la programación y cuenta también con la programación del subsistema de luz artificial pero no ha sido posible añadirles las nuevas incorporaciones del presente proyecto de manera continua aunque sí fue posible la puesta en marcha del sistema SCADA remotamente comprobándose el funcionamiento de los dispositivos actualmente conectados a los elementos de lectura y escritura.

Para finalizar, los trabajos futuros deberían tener el objetivo de acercar el sistema SCADA a dispositivos móviles y permitir la interacción con ellos, es decir, acercar el cultivo al trabajador en cualquier lugar y momento del día. Esta medida dará lugar a la optimización y evolución de los procesos de control. Otra mejora debería incluir la programación necesaria para realizar envíos de los archivos generados a la nube con el fin de tener acceso remoto a los datos que se crean en el proceso. Por otra parte, una mejora a incluir en el futuro sería la programación de un menú de clima, permitiendo conocer el estado previo del tiempo de manera rápida para así adelantarse a posibles anomalías climáticas.

Referencias.

- [1] HortoInfo Diario Digital de Actualidad Hortofrutícola, Noticias [Consulta 21-06-2019]. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/noticias-3/noticias>.
- [2] Estación Experimental Fundación Cajamar, Cajamar Caja Rural [Consulta 21-06-2019]. Disponible en: <https://www.fundacioncajamar.es/es/comun/estacion-experimental-palmerillas/>.
- [3] Ciencia directa, 2012, El futuro de los invernaderos: Incorporar la robótica a las fases de producción, Boletín Agrario [Consulta 18-04-2020] Disponible en: <https://boletinagrario.com/dc-3628,futuro-invernaderos-incorporar-robotica-fases-produccion.html>
- [4] Página web del grupo de investigación, ARM-TEP197, 2012 [Consulta 18-04-2020] Disponible en: <https://arm.ual.es/arm-group/>
- [5] Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://www.ciencia.gob.es/>.
- [6] Pérez-López, E., 2015, *SCADA systems in the industrial Automation*; Tecnología en Marcha; 28 (4); pp. 3-14.
- [7] ISA 101-01, 2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems: ISA, 64 pp.
- [8] Ponsa, P., Boladeras, M., Català, A., 2006, *Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión*, VII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador, Puertollano, España.
- [9] Universidad de Almería, CHROMAE Projetc (DIP2017-85007-R) [Consulta 18-04-2020]. Disponible en <http://www2.ual.es/chromae/>
- [10] Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (Plan 2010), Objetivos y Competencias, Universidad de Almería [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://cms.ual.es/UAL/estudios/grados/objetivos/GRADO4310>
- [11] Valera, L.D., Belmonte, L.J., Molina-Aiz, F.D., López, A., 2014, Estructuras de invernadero, Los invernaderos de Almería: Análisis de su tecnología y rentabilidad, Cajamar, Caja Rural, Almería, España. pp. 58-79.
- [12] Google Maps, Alphabet Inc, [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <https://www.google.es/maps/place/Estaci%C3%B3n+Experimental+Cajamar/@36.7935806,-2.7220393,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd7068e0236eda15:0xa9f355801e8d663a!8m2!3d36.7935806!4d-2.7198506>
- [13] Mena, R., Sánchez-Molina, J., Rodríguez, F., Sánchez, J., Berenguel, M., 2015; *Diseño de un Sistema SCADA Modular y Escalable para el Control de Clima y Riego en Invernaderos*, VIII Congreso ibérico de Agroingeniería, Orihuela-Algorfa, España, pp.946-957.
- [14] Campbell Scientific, Temperature and Relative Humidity Probe, HC2S3 Manuals [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/hc2s3.pdf>
- [15] Decagon Devices, quick start guide [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: http://manuals.decagon.com/Quick%20Start%20Guides/14649_GS1-GS3_Print.pdf
- [16] E+E Electronik, CO2 Transmitter, CO2 EE820 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: http://downloads.epluse.com/fileadmin/data/product/ee820/datasheet_EE820.pdf
- [17] Delta Ohm, Piranómetro Delta Ohm, LP PYRA 03 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: https://www.deltaohm.com/ver2012/download/LP_PYRA02_03_12_es.pdf
- [18] Hukseflux, Radiation sensor, LP02 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: https://www.hukseflux.com/uploads/product-documents/LP02_manual_v1606.pdf
- [19] Apogee Instruments, Quantum (PAR) sensor meters, SQ-110 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://s.campbellsci.com/documents/au/manuals/SQ-110.pdf>

- [20] Efesaro, Sensor de contenido de agua, Decagon GS1 Manuals [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: https://efesaro.com/pdf/sensores/VWC_Suelo_Decagon_ECH-GS1.pdf
- [21] Efesaro, Sensor de humedad de hoja, Decagon LWS Manuals [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: https://efesaro.com/pdf/sensores/Humedad_Hoja_Decagon_LWN530.pdf
- [22] Burkert Fluid Control Systems, Flowmeter for the continuous Measurement of water, Type 8081 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://www.burkert.com/en/Media/plm/DTS/DS/DS8081-Standard-EU-EN.pdf?id=DTS00000000000000001000106406ENL>
- [23] Wittich & visser, Sensor Vant, PRV-XL Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <http://sensovant.com/productos/pdf/meteorologia/viento/sensores-mecanicos/PA2&PRV-hoja-de-datos.pdf>
- [24] Vector Instruments, Anemometes, A100L2 Manuals [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <http://sensovant.com/productos/pdf/meteorologia/viento/sensores-mecanicos/PA2&PRV-hoja-de-datos.pdf>
- [25] Delta Ohm, Rain Detector, HD2013.2 Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://www.deltaohm.com/en/wp-content/uploads/document/DeltaOHM-HD2013.2-Rain-detector-datasheet-en.pdf>
- [26] GMC Instruments, Camille Bauer Datasheet [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: https://www.gmc-instruments.de/media/gb/sineax-m561-563-db_gb.pdf
- [27] Rotronic Measurement Solutions, Relative Humidity Probe, Hygromer IN-1 Datasheet. [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://www.rotronic.com/en/productattachments/index/download?id=997>
- [28] CO₂ Measurement specialist, Como funciona un sensor CO₂ NDIR. [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://www.co2meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>
- [29] Jiménez-Builes, J., Ramírez, J., 2009, Robótica Educativa. Estrategias Activas en Ingeniería; Ed. Universidad Nacional de Colombia; Medellín; Colombia; 115 pp.
- [30] Kipp&Zonnen, Principio de funcionamiento de un piranómetro de termopila [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://www.kippzonen.es/News/575/Principio-de-funcionamiento-de-un-piranometro-de-termopila#.Xr11S2gzZhE>
- [31] Omega a spectrics Company, Caudalímetro ultrasónico, principio de operación [Consulta 01-03-2020]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/caudalimetro-ultrasonico.html>
- [32] Series of Motors, Neri Motori [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <https://www.nerimotori.com/en/prodotti/series-of-motors/three-phase/three-phase-t>
- [33] Master Climate Solutions, Calentadores Master BLP [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: http://www.masterheaters.es/pdf/MASTER/MASTER_ES.pdf
- [34] Ferrosol SL, Calderas de biomasa manual [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://www.ferrosol.com/nuestros-productos/images/CALDERAS%20DE%20BIOMASA.pdf>
- [35] Baeza SA, Bombas centrífugas en acero inoxidable AISI 304/316, Serie e-SHE Lowara manual [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: https://archivos.baezaonline.com/productos/25170/6772-78989_ficha_tecnica_bombas_serie_e-she.pdf
- [36] ETI Intelligent lighting, Proyector AGROLED ficha técnica [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://esdocs.com/doc/921955/grow-lighting>
- [37] Hidroterm, Bombas centrífugas, Multi20 ficha técnica [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: https://www.hidroterm.com.ve/PRODUCTOS/proyecto%20bombas/bombasdeagua_files/pdfbombas/multi20.pdf

- [38] Fral Right Humidity on Demand, Humidity and temperature control deshumidifiers, FD980TCR manual [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: https://www.fral.it/wp-content/uploads/2019/12/FD_TCR-industrial_1.pdf
- [39] Valera, L.D., Belmonte, L.J., Molina-Aiz, F.D., López, A., 2014, Sistemas de ventilación natural utilizados en los invernaderos de Almería, Los invernaderos de Almería Análisis de su tecnología y rentabilidad, Cajamar, Caja Rural, Almería, España, pp. 86-114.
- [40] Sánchez Molina, J.A., 2014, *Modelado híbrido de un sistema de calefacción basado en biomasa para el enriquecimiento de CO2 en invernaderos*, Trabajo fin de máster, Universidad de Almería, España, 50 pp.
- [41] Infoagro, Fertilización carbónica [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: https://www.infoagro.com/abonos/fertili_carbonic.htm
- [42] Reche Mármol, J., 2010, Cultivo del Pimiento Dulce en Invernadero, Signatura Ediciones de Andalucía, S.L., Sevilla, España; pp. 294.
- [43] Weather Atlas, Previsión meteorológica y clima mensual Almería, España. [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.weather-es.com/es/espana/almeria-clima>
- [44] Tomillero, M., Rodríguez, F., Sánchez-Molina, J.A., Hernández, J., López, J.C., 2015, Acta Nº 71: Evaluación de un sistema de deshumificación por condensación en un invernadero del sudeste español, XIV Congreso Nacional De Ciencias Hortícolas, p.5, Almería, SECH, Disponible en: <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2071.%20XIV%20Congreso%20Nacional%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Ingenieri%CC%81a%20Horti%CC%81cola/Evaluacio%CC%81n%20de%20un%20sistema%20de%20deshumificacio%CC%81n%20por%20condensacio%CC%81n%20en%20un%20invernadero%20del%20sudeste%20espan%CC%83ol.pdf>
- [45] Master Climate Solutions, ¿Cómo funciona?: El principio de funcionamiento de los deshumidificadores por condensación [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://www.masterheaters.es/%C2%BFcomo-funciona-el-principio-de-funcionamiento-de-los-deshumidificadores-por-condensacion,173.html>
- [46] NI, FieldPoint and Compact FieldPoint [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1199>
- [47] NI, National Instruments [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-es.html>.
- [48] NI, National Instruments, Hardware PAC-Compact Fieldpoint [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <http://www.ni.com/pac/esa/cfp.htm>
- [49] D-Link, Router Wifi [Consulta 18-04-2020]. Disponible en: <https://la.dlink.com/la/routers/dir-822/>
- [50] National Instruments, LabVIEW [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-es/shop/labview.html>
- [51] AENOR, Normativas UNE e ISO [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0025544>
- [52] ISA Standards, International Society of Automation [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.isa.org/templates/search.aspx?query=ISA%205#/3c966f8262f593eed8ed75a81262cd3>
- [53] AENOR, Normativas UNE e ISO [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0030260>
- [54] AENOR, Normativas UNE e ISO [Consulta 21-06-2018]. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0060329>
- [55] Rodríguez Penin, A., 2007, Recomendación de diseño, Sistemas SCADA 2ª Edición, Marcombo, Barcelona, España, pp. 163-183.

- [56] BOE, Ministerio de la presidencia. Relaciones con las cortes y memoria democrática [Consulta21-06-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8671>
- [57] Ponsa, P., Granollers, A., 2000, Diseño de pantalla. Universidad Politécnica de Cataluña., pp.46.
- [58] Revista Digital INESEM, Diseño y artes gráficas, Diagrama de Gutenberg: su importancia en la web [Consulta21-10-2019]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/disen-y-artes-graficas/diagrama-de-gutenberg/>
- [59] NI, Configuración Ethernet [Consulta21-06-2018]. Disponible en: <https://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5C80E80C937FDED88625740400072C61>
- [60] BOE, Ministerio de la presidencia, Relaciones con las cortes y memoria democrática [Consulta 14-03-2020]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-3692

Anexo I Módulos de E/S

Índice de tablas del Anexo I

Tabla A 1 Módulos de E/S	98
<i>Tabla A 2 Módulos de E/S (Continuación)</i>	99

En el Anexo I Módulos de E/S, se muestra la tabla A1 y A2 donde se encuentran los módulos de entrada y salida usados en los Compact Fieldpoint de la Estación Experimental “Las Palmerillas”.

Módulo	Descripción	Ilustración
cFP-AI-100	Módulo de Entrada Analógica de Voltaje y Corriente, 12 Bits, 8 V.	
cFP-AI-110	Módulo de Entrada Analógica de Voltaje y Corriente 16 Bits, 8	
cFP-AI-111	Módulo de Entrada Analógica de corriente 16 Canales, 16 Bits.	
cFP-AI-112	Módulo de Entrada Analógica de voltaje 16 Bits y 16 canales.	
cFP-AO-200	Módulo de Salida Analógica de Corriente de 8 Canales.	

Tabla A 1 Módulos de E/S

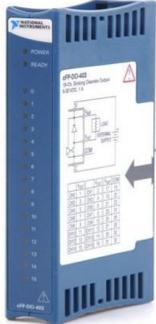
<p>cFP-DO-400</p>	<p>Módulo de Salida Digital Sourcing 8 Canales.</p>	
<p>cFP-DO-403</p>	<p>Módulo de Entrada Digital Sinking 16 Canales.</p>	
<p>cFP-RTD-124</p>	<p>Módulo de Entrada de Temperatura RTD de 8 Canales y 4 Cables.</p>	
<p>cFP-CTR-502</p>	<p>Módulo de Contador Sourcing de 8 Canales, 5 V a 24 V.</p>	

Tabla A 2 Módulos de E/S (Continuación)

Anexo II. Plantilla de programación.

Índice de figuras Anexo II

<i>Figura A 1 Mapa de programación</i>	102
--	-----

La plantilla de programación que se ha planteado en este proyecto corresponde a la Figura A.1. Esta plantilla configura las ubicaciones de los distintos elementos del diagrama de programación que se ha realizado en *LabVIEW*.

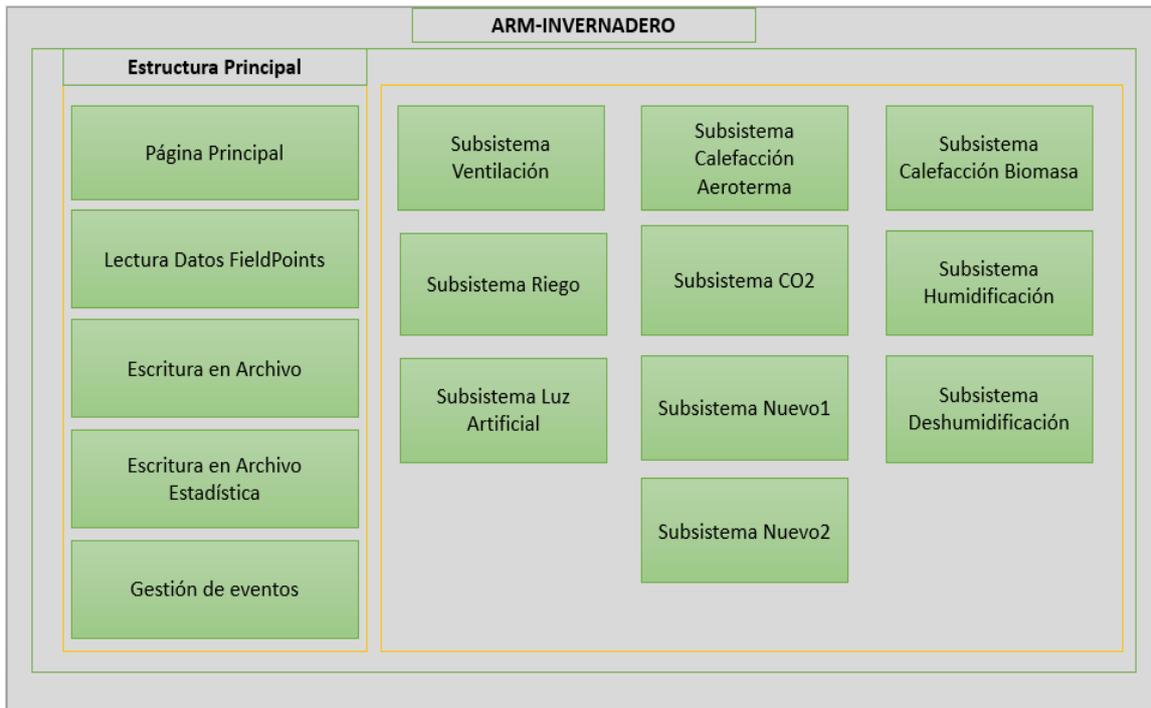


Figura A 1 Mapa de programación

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo, mejora e implantación de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos más conocido como sistema SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control and Data Acquisition) en el invernadero situado en las instalaciones de la empresa, *Fundación Cajamar*. Para el desarrollo y programación del sistema SCADA se ha utilizado el software de *National Instruments, Labview®*. Este, es un entorno de programación gráfico que se puede utilizar para crear aplicaciones con interfaces de usuario. La herramienta usa iconos gráficos para crear aplicaciones en vez de líneas de texto y en vez de fijar la orden de ejecución por las instrucciones, se usa un flujo de datos gráfico. El sistema instalado en el invernadero está formado por tres unidades de cFP y un CRIO de NI con módulos de E/S conectados por medio de protocolo Ethernet a un router wifi que permitirá la comunicación de forma remota con un ordenador situado en las oficinas de la Estación Experimental "Las Palmerillas". El sistema SCADA implementado en la planta así como las mejoras incorporadas en este trabajo han sido desarrolladas bajo un criterio de normas internacionales y guías de diseño: ISO 9241, ISO 11064, UNE 500520:2003, ISA S5 y guía Gedis. El sistema SCADA contará con la monitorización y visualización de todas las variables que intervienen en el proceso en la pantalla principal donde se mostrarán además todos los subsistemas que componen la totalidad de la planta. La herramienta permitirá la navegación del operario por los submenús correspondientes a los subsistemas de control, configuración, con la posibilidad de configuración de los parámetros de control y análisis, donde se podrá visualizar de forma gráfica las variables y donde se podrá ver los registros de los estados de alarma. Palabras clave: control climático de invernadero, supervisión industrial, control de riego.

The main objective of this project is the development, improvement and implementation of a data Supervision, Control and Acquisition system better known as SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system in the greenhouse located at the company's facilities. , Cajamar Foundation. For the development and programming of the SCADA system, the National Instruments software, Labview® has been used. This is a graphical programming environment that can be used to create applications with user interfaces. This tool uses icons to create applications instead of lines of text and instead of setting the execution order by the instructions, a graphical data flow is used. The system installed in the greenhouse consists of three cFP units and an NI CRIO with I/O modules connected via Ethernet protocol to a Wi-Fi router that will allow remote communication with a computer located in the offices of the Experimental Station "Las Palmerillas". The SCADA system implemented in the plant as well as the improvements incorporated in this work have been developed under the criteria of international standards and design guidelines: ISO 9241, ISO 11064, UNE 500520: 2003, ISA S5 and Gedis guide. The SCADA system will have the monitoring and visualization of all the variables that intervene in the process on the main screen where all the subsystems that make up the entire plant will also be displayed. The tool will allow the operator to navigate through the submenus corresponding to the control subsystems, configuration, with the possibility of configuring the control and analysis parameters, where the variables will be displayed graphically and where the records of the alarm states. Keywords: Greenhouse climate control, industrial supervision, irrigation control.

