

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Desarrollo e Implementación de un Sistema  
SCADA para la Instalación Demostrativa de  
Cultivos de Microalgas del Proyecto  
SABANA”

Curso 2018/2019

**Alumno/a:**

Javier Machado Mañas

**Director/es:**

Dr. D. Francisco Rodríguez Díaz  
Dr. D. Jorge Antonio Sánchez Molina







UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

**Desarrollo e implementación de un sistema SCADA  
para la instalación demostrativa de cultivos de microalgas  
del proyecto SABANA**

Autor:

Javier Machado Mañas

Tutores:

Francisco Rodríguez Días

Jorge Antonio Sánchez Molina

Almería, Enero 2018



Quiero dedicar este trabajo a todas aquellas personas que han creído en mí y me han dado su apoyo y comprensión hasta el final. Especialmente a mis padres Antonio y Juani, y a mis hermanos Daniel y Jorge.





## Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todo el equipo de investigadores involucrados en el Grupo de Biotecnología de Microalgas Marinas (BIO-173), por ese fabuloso ambiente de trabajo y por haberme hecho sentir parte de ellos.

A Gabriel Acién y José Peña por su gran ayuda y apoyo sin los cuales habría sido muy difícil desarrollar este trabajo.

Gracias a los integrantes del Grupo de Automática, Robótica y Mecatrónica (TEP-197), especialmente a Jorge Sánchez y Francisco Rodríguez por haber confiado en mí para un proyecto tan importante, por el interés mostrado, por sus consejos y su gran apoyo.





## Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>I</b>
<b>Nomenclatura</b> .....	<b>VII</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>IIX</b>
<b>Lista de Tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1.-Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Contexto.....	2
1.4 Resumen de resultados.....	3
1.5 Planificación temporal.....	4
1.6 Competencias utilizadas en el TFG.....	6
1.7 Estructura de la memoria del TFG.....	7
<b>2.-Descripción de la planta</b> .....	<b>9</b>
2.1 Diagrama conceptual.....	9
2.1.1 Fases del proceso.....	10
2.1.1.1 Inoculación de fotobiorreactores.....	11
2.1.2.2 Producción en fotobiorreactores abiertos.....	12
2.1.3.3 cosechado.....	13
2.1.2 Elementos.....	13
2.1.2.1 Cabezal de riego.....	13
2.1.2.2 Turbosoplantes.....	15
2.1.2.3 Generación de CO <sub>2</sub> .....	16
2.1.2.4 Ozonizador.....	17
2.1.2.5 Columnas de inóculos.....	17
2.1.2.6 Fotobiorreactores tubulares.....	18
2.1.2.7 Fotobiorreactores raceways.....	20
2.1.2.8 Fotobiorreactores thinlayers.....	21
2.1.2.9 Depósitos de cosechado.....	23
2.1.2.10 Centrifugadora.....	23
2.1.3 Modos de funcionamiento.....	24
2.2 Descripción de elementos de medida .....	24
2.2.1 Caudalímetros.....	24
2.2.2 Interruptores de flotador.....	25
2.2.3 Sensores de CO <sub>2</sub> .....	26
2.2.4 Sensores de pH.....	26
2.2.5 Sensores de oxígeno disuelto.....	27
2.2.6 Sensores de radiación global.....	28
2.2.7 Sensores de radiación PAR.....	29
2.2.8 Sensores de humedad relativa .....	30
2.2.9 Detector de lluvia.....	30

2.2.10 Anemómetro.....	31
2.2.11 Veleta.....	32
2.3 Descripción de elementos actuadores.....	32
2.3.1 Electroválvulas.....	32
2.3.2 Variadores de frecuencia.....	33
2.3.3 Bombas de medio.....	34
2.3.4 Bombas de inyección.....	34
2.3.5 Bombas de cosechado.....	35
2.3.6 Ruedas de palas.....	35
2.4 Elementos de comunicación LabJack UE9.....	36
2.5 Arquitectura hardware .....	39
<b>3.- Especificaciones de diseño del sistema SCADA.....</b>	<b>41</b>
3.1 Especificaciones técnicas.....	41
3.2 Especificaciones sobre la interfaz del sistema SCADA.....	41
3.3 Normativa.....	42
3.3.1 Norma UNE 500520:2002.....	42
3.3.2 Norma ISO 9241.....	43
3.3.3 Directiva 98/37/CE.....	43
3.3.4 Norma ISO 11064.....	44
3.3.5 Norma ISA 101.....	44
3.3.6 Real Decreto RD 488/1997.....	44
3.3.7 Norma ISA S5.....	45
3.3.8 Guía GEDIS.....	45
<b>4.-Diseño del sistema SCADA.....</b>	<b>47</b>
4.1 Diseño de la Interfaz.....	47
4.1.1 Arquitectura de pantallas.....	47
4.1.2 Color y texto.....	51
4.1.3 Estado de los equipos y eventos de proceso.....	51
4.1.4 Alarmas.....	56
4.2 Herramientas de desarrollo.....	57
4.2.1 DAQFactory.....	57
4.2.1.1 Interfaz principal.....	58
4.2.1.2 Configuración de dispositivos I/O.....	58
4.2.1.3 Canal de datos (Channel).....	58
4.2.1.4 Gestión de alarmas.....	60
4.2.1.5 Registros de datos .....	62
4.2.1.6 Programación de secuencias.....	63
4.2.1.7 Lazos de control PID.....	64
4.2.1.8 Configuración de objetos gráficos.....	66
4.2.2 Symbol Factory.....	67
4.2.3 LJControlPanel.....	68
5.- Resultados.....	71
5.1 Herramienta.....	71
5.1.1 Supervisión de cultivos.....	71

5.1.2 Sistema de control de pH.....	75
5.1.3 Sistema de fertirrigación .....	76
5.1.4 Sistema de cosechado.....	79
5.1.5 Estación meteorológica.....	81
5.1.6 Sistema de registro de datos.....	83
5.1.7 Gráfica general.....	84
5.1.8 Envió de avisos por Email.....	85
5.1.9 Sistema de supervisión de comunicaciones.....	86
5.1.10 Alarmas.....	87
5.1.11 Configuración.....	90
5.1.12 Control de acceso a usuarios.....	91
5.2 Puesta en Marcha de la Herramienta SCADA .....	93
5.3 Evaluación de la Herramienta SCADA por los Supervisores de la Planta.....	95
<b>6.-Conclusiones.....</b>	<b>99</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice A. Labjack.....</b>	<b>103</b>
Contenidos Apéndice A.....	103
Lista de Figuras Apéndice A.....	103
Lista de tablas Apéndice A.....	103
Apéndice A.1 Modulo UE9.....	104
Apéndice A.2 Esquema Tarjeta CB-37.....	105
Apéndice A.3 Esquema Tarjeta CB-15.....	105
Bibliografía.....	106
<b>Apéndice B. Secuencias Principales.....</b>	<b>107</b>
Contenidos Apéndice B.....	107
Apéndice B.1 Inicio de Sistema.....	108
Apéndice B.2 Control de pH.....	110
Apéndice B.3 Fertirrigación.....	111
Apéndice B.4 Cosechado.....	113
Apéndice B.5 Alarmas.....	116
Apéndice B.6 Email.....	117
Apéndice B.7 Login.....	118

## Nomenclatura

<b>Acrónimos</b>	<b>Denominación Original</b>	<b>Significado en Castellano</b>
<b>AC</b>	Alternating Current	Corriente alterna
<b>ASCII</b>	American Standard Code for Information Interchange	Código estándar americano para intercambio de información
<b>CIM</b>	Computer Integrated Manufacturing	Manufactura integrada por computador
<b>DC</b>	Direct Current	Corriente continua
<b>DAC</b>	Digital to Analog Converter	Convertidor digital a analógico
<b>DAQ</b>	Data Acquisition	Adquisición de datos
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning	Planificación de recursos empresariales
<b>GPIO</b>	General Purpose Input/Output	Entradas / Salidas de propósito general
<b>HMI</b>	Human-Machine Interface	Interfaz hombre-maquina
<b>IFAPA</b>	Instituto Investigación y Formación Agraria y Pesquera Andaluz	
<b>IP</b>	Internet Protocol	Protocolo de Internet
<b>I/O</b>	Input / Output	Entradas / Salidas
<b>MES</b>	Manufacturing Execution System	Sistema de ejecución de manufactura
<b>NA</b>	Normalmente Abierto	Normalmente abierto
<b>NC</b>	Normalmente Cerrado	Normalmente cerrado
<b>ODBC</b>	Open Database Connectivity	Conectividad de base de datos abierta
<b>PC</b>	Personal Computer	Computador personal
<b>PLC</b>	Programmable Logic Controller	Controlador lógico programable
<b>PID</b>	Proportional-Integral-Derivative Controller	Controlador proporcional, integral, derivativo
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit	Unidad terminal remota
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition	Supervisión, control y adquisición de datos
<b>SQL</b>	Structured Query Language	Lenguaje de consulta estructurada

## Lista De Figuras

Figura 1.1 Fotobiorreactores.....	1
Figura 1.2 Pantalla principal del sistema SCADA desarrollado.....	3
Figura 1.3 Representación de fotobiorreactor tubular.....	4
Figura 2.1 Distribución de la planta en centro IFAPA La Cañada.....	9
Figura 2.2 Diagrama conceptual de funcionamiento de la planta.....	10
Figura 2.3 Fotobiorreactores cerrados.....	11
Figura 2.4 Fotobiorreactores abiertos.....	12
Figura 2.5 Depósitos de acopio y válvulas de selección.....	13
Figura 2.6 Tanques de nutrientes diluidos.....	14
Figura 2.7 Sistema de bombeo de medio.....	14
Figura 2.8 Diagrama de cabezal de riego.....	15
Figura 2.9 Bombas turbosoplantes.....	16
Figura 2.10 Sistema generador de CO <sub>2</sub> .....	16
Figura 2.11 Sistema de Ozonizado.....	17
Figura 2.12 Diagrama de columnas de inóculos.....	18
Figura 2.13 Diagrama de fotobiorreactor tubular.....	19
Figura 2.14 Diagrama de fotobiorreactor Raceway.....	20
Figura 2.15 Diagrama de fotobiorreactor Thinlayer.....	22
Figura 2.16 Depósitos de cosechado.....	23
Figura 2.17 Centrifugadora.....	24
Figura 2.18 Caudalímetros.....	25
Figura 2.19 Interruptor de flotador.....	26
Figura 2.20 Sensor CO <sub>2</sub> Vaisala GMT222.....	26
Figura 2.21 Transductor JUMO Aquis500 para sonda de pH.....	27
Figura 2.22 Sonda y elemento de medida JUMO dTrans O2.....	28
Figura 2.23 Piranómetro de termopila Kipp & Zonen CM11.....	29
Figura 2.24 Sensor de radiación PAR Apogee SQ110.....	29
Figura 2.25 Carcasa de protección y sensor de humedad relativa.....	30
Figura 2.26 Detector de lluvia Delta HD2013.2.....	31
Figura 2.27 Anemómetro Thies Clima 3400.....	31
Figura 2.28 Veleta Thies Clima 3124.....	32
Figura 2.29 Electroválvula de medio líquido.....	33
Figura 2.30 Variadores de frecuencia para bombas de caudal.....	33
Figura 2.31 Bomba para recirculado en Fotobiorreactor Tubular.....	34
Figura 2.32 Bomba inyectora.....	35
Figura 2.33 Bomba de cosechado en foso.....	35
Figura 2.34 Ruedas de palas.....	36
Figura 2.35 Cuadro eléctrico.....	37

Figura 2.36 Labjack UE9 con tarjetas CB-15 y CB-37 conectadas.....	37
Figura 2.37 Conexión de LjTick-DAC.....	38
Figura 2.38 Arquitectura de red de comunicaciones.....	39
Figura 4.1 Arquitectura del sistema.....	48
Figura 4.2 Plantilla Patrón.....	48
Figura 4.3 Plantilla de sistemas funcionales.....	49
Figura 4.4 Plantilla de pantalla emergente.....	49
Figura 4.5 Opciones del menú general.....	50
Figura 4.6 Acceso a parámetros específicos.....	50
Figura 4.7 Opciones de pantallas emergentes.....	50
Figura 4.8 Diseños básicos de fotobiorreactores.....	52
Figura 4.9 Sinóptico de fotobiorreactores de Gran volumen.....	53
Figura 4.10 Gráfica de variables de fotobiorreactor.....	54
Figura 4.11 Controles principales.....	55
Figura 4.12 Interruptor de controles manuales.....	55
Figura 4.13 Selector tipo slider.....	55
Figura 4.14 Indicadores de alarma activa.....	57
Figura 4.15 Icono alarma.....	57
Figura 4.16 Interfaz principal de DAQFactory.....	58
Figura 4.17 Configuración de dispositivos.....	59
Figura 4.18 Tabla para configuración de Channels ( <i>Channel Table</i> ).....	60
Figura 4.19 Gestión de alarmas.....	61
Figura 4.20 Configuración de alarma.....	61
Figura 4.21 Configuración de archivo logging.....	62
Figura 4.22 Configuración de archivo Export.....	62
Figura 4.23 Esquema de control en el dominio de la frecuencia.....	64
Figura 4.24 Pantalla de configuración de PID.....	65
Figura 4.25 Menú de objetos predefinidos.....	66
Figura 4.26 Menú propiedades de objeto Symbol.....	66
Figura 4.27 Propiedades de objeto. Pestaña Action.....	67
Figura 4.28 Interfaz SymbolFactory.....	68
Figura 4.29 Panel inicial LJControlPanel.....	69
Figura 4.30 Panel de prueba de entradas y salidas.....	69
Figura 4.31 Configuración de valores por defecto de entradas y salidas.....	70
Figura 5.1 Pantalla Inicial.....	71
Figura 5.2 Pantallas dedicadas a la supervisión de cultivos.....	72
Figura 5.3 Estructura de pantalla de supervisión de cultivos.....	73
Figura 5.4 Cuadro de información sobre consignas configuradas.....	73
Figura 5.5 Configuración de consignas.....	73
Figura 5.6 Indicación de actuadores.....	74

Figura 5.7 Cuadro de controles de proceso.....	74
Figura 5.8 Pantalla emergente con panel de control de Raceways.....	75
Figura 5.9 Configuración de consignas para fotobiorreactores tubulares.....	75
Figura 5.10 Control manual de cabezal de riego.....	76
Figura 5.11 Pantalla de configuración de parámetros de fertirrigación.....	77
Figura 5.12 Supervisión del proceso de fertirrigación.....	79
Figura 5.13 Panel de recetas de medio.....	79
Figura 5.14 Pantalla de cosechado.....	80
Figura 5.15 Sinóptico de estación meteorológica.....	81
Figura 5.16 Reloj de medida.....	82
Figura 5.17 Gráfica de estación meteorológica.....	82
Figura 5.18 Panel Archivos.....	84
Figura 5.19 Pantalla Gráficas .....	85
Figura 5.20 Icono mail.....	85
Figura 5.21 Supervisión de red Ethernet.....	86
Figura 5.22 Botones de acceso a sistema de alarma.....	87
Figura 5.23 Pantalla de configuración de alarmas.....	87
Figura 5.24 Identificación de alarmas.....	88
Figura 5.25 Icono Engranaje.....	90
Figura 5.26 Pantalla de configuración de sistema.....	90
Figura 5.27 Icono usuario.....	91
Figura 5.28 Pantalla de gestión de usuarios.....	91
Figura 5.29 Icono Login.....	92
Figura 5.30 Acceso no permitido.....	92
Figura A.1 Mapa de conexiones del módulo Labjack UE9.....	104
Figura A.2 Esquema de tarjeta CB-37.....	105
Figura A.3 Esquema de tarjeta CB-15.....	105



## Lista de Tablas

Tabla 1.1 Planificación temporal del trabajo.....	4
Tabla 2.1 Elementos del cabezal de riego.....	15
Tabla 2.2 Características de turbosoplante AstralPool.....	16
Tabla 2.3 Características generador de ozono PCS-Pro.....	17
Tabla 2.4 Elementos de columnas de inóculos.....	18
Tabla 2.5 Elementos de fotobiorreactor tubular.....	19
Tabla 2.6 Características fotobiorreactores Raceways.....	20
Tabla 2.7 Elementos de fotobiorreactor tubular.....	21
Tabla 2.8 Elementos de fotobiorreactor Thinlayer.....	22
Tabla 2.9 Características de fotobiorreactores Thinlayer.....	23
Tabla 2.10 Características centrifugadora GEA OSI 5.....	23
Tabla 2.11 Características técnicas de caudalímetros instalados.....	25
Tabla 2.12 Características técnicas del Sensor CO <sub>2</sub> Vaisala GMT222.....	26
Tabla 2.13 Características técnicas del sensor de pH Jumo Aquis500.....	27
Tabla 2.14 Características técnicas del sensor de Oxígeno disuelto JUMO dTrans O2.....	28
Tabla 2.15 Características técnicas de los piranómetros instalados.....	29
Tabla 2.16 Características técnicas de los sensores de radiación PAR instalados.....	30
Tabla 2.17 Características técnicas del sensor de humedad relativa HD9008TRR.....	30
Tabla 2.18 Características técnicas del Detector de Lluvia Delta HD2013.2.....	31
Tabla 2.19 Características técnicas del Anemómetro Thies Clima 3400.....	31
Tabla 2.20 Características técnicas de la Veleta Thies Clima 3124.....	32
Tabla 2.21 Características técnicas electroválvula 2770-010400.02 de SAMSON.....	33
Tabla 2.22 Características técnicas de los variadores FUJI FVR-Micro FVR0.75S2S-7E.....	34
Tabla 2.23 Características técnicas de las bombas sumergidas Power Pumps POW 6782.....	35
Tabla 2.23 Características técnicas del motorreductor Transtecno TCM090060U-HTC .....	36
Tabla 2.24 Identificación puertos digitales.....	38
Tabla 4.1 Opciones accesibles desde menú de sistema.....	50
Tabla 4.2 Paleta de colores.....	52
Tabla 4.3 Iconos de componentes principales.....	53
Tabla 5.1 Direcciones preconfiguradas de archivos.....	84
Tabla 5.2 Listado de alarmas.....	98
Tabla 5.3 Proceso de prueba de actuadores y procesos automáticos.....	93
Tabla 5.4 Formulario guía Gedis.....	96
Tabla A.1 Identificador número de channels en DAQFactory.....	104

## Abstract

The main objective of this project is the development and implementation of a system of supervision, control and data acquisition, which allows an adequate and integral control of the different elements that form the demonstration centre of a microalgae biorefinery. This work is within the European SABANA project and is led by the University of Almeria. This centre will be operated to demonstrate the technology, asses the operating characteristics of the system and evaluate environment impacts.

As part of an end-of-degree project, the tasks carried out consisted of designing an adequate architecture for the supervision system, automation of the main processes carried out in the plant such as fertigation and harvesting of crops, the creation of a data model that allows easy access by the research groups involved at European level and the implementation of the system respecting the imposed specifications.

The system has been implemented using the DAQFactory development tool and Labjack UE9 devices have been used as remote units of communication between the tool and the elements of the plant.

As a result, it has been possible to obtain a shallow architecture that facilitates the control and supervision of each elements that make up the plant. The system is able to perform automatically the control of the cultivation parameters and a special effort has been made in the automation of the fertigation and harvesting systems. In addition, functions have been added to monitor connection failures that, together with the alarm system, have made it possible to increase the robustness of the system. The user control functions and the crop data recording system have completed the SCADA tool and allowed to achieve a high value in the evaluation carried out through the GEDIS guide.

## Resumen

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo e implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, que permita un control adecuado e integral de los diferentes elementos que forman la instalación demostrativa de una biorrefinería de microalgas. Este trabajo se encuentra dentro del proyecto europeo SABANA y es liderado por la Universidad de Almería. La planta permitirá demostrar la tecnología, evaluar las características operativas del sistema y su impacto ambiental.

Como parte de un trabajo de fin de grado las tareas realizadas han consistido en diseñar una arquitectura adecuada para el sistema de supervisión, la automatización de los principales procesos realizados en la planta como la fertirrigación y cosechado de cultivos, la creación de un modelo de datos que permita un fácil acceso para los grupos de investigación involucrados a nivel europeo y la puesta en marcha del sistema respetando las especificaciones impuestas.

El sistema ha sido implementado mediante la herramienta de desarrollo DAQFactory y han sido utilizados dispositivos Labjack UE9 como unidades remotas de comunicación entre la herramienta y los elementos de la planta.

Como resultado se ha logrado obtener una arquitectura de poca profundidad que facilita el control y supervisión de cada uno de los elementos que componen la planta. El sistema es capaz de realizar de forma automática el control de los parámetros de cultivo y ha sido realizado un especial esfuerzo en la automatización de los sistemas de fertirrigación y cosechado. Además, han sido añadidas funciones para la supervisión de fallos de conexión, que junto al sistema de alarmas, han permitido aumentar la robustez del sistema. Las funciones de control de usuarios y el sistema de registro de datos de cultivo han completado la herramienta SCADA y permitido alcanzar una alto valor en la evaluación realizada mediante la guía GEDIS.

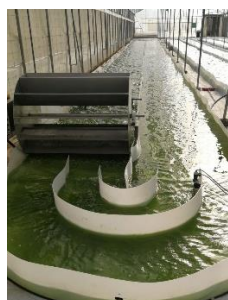


# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Motivación del proyecto

En el marco del proyecto europeo “Sustainable Algae Biorefinery for Agriculture aNd Aquaculture” (SABANA) [1], la Universidad de Almería (UAL) dirige la puesta en marcha de una biorrefinería de microalgas como planta demostrativa que permitirá demostrar la tecnología, evaluar las características operativas del sistema y su impacto ambiental. Los principales elementos que conforman la planta son 13 fotobiorreactores: 3 Thinlayers (TL), 4 Raceways (RW), 3 Tubulares y 3 grupos de 3 columnas de Inóculos (Ver figura 1.1).

El fotobiorreactor es donde se realiza el proceso de cultivo, estos elementos permiten controlar los diferentes parámetros necesarios para el desarrollo de las microalgas. Dependiendo de la fase en la que se encuentra el cultivo es utilizado un tipo u otro de fotobiorreactor. Para el cultivo de microalgas es necesario controlar los niveles de pH, Oxígeno disuelto y temperatura del medio, por lo que es necesario disponer de sensores para su medición en cada uno de los fotobiorreactores [2]. El control de los parámetros mencionados se lleva a cabo mediante la inyección de aire y CO<sub>2</sub> a través de válvulas todo o nada. Además será necesario mantener un flujo forzado en el cultivo mediante bombas y agitadores de rueda de paletas cuyo movimiento será controlado a través de variadores de frecuencia. Los lazos de control tanto para los sistemas de inyección como para los sistemas de flujo forzado tendrán en cuenta las condiciones atmosféricas que influyen notablemente sobre el desarrollo del cultivo por lo que la planta dispondrá de una estación meteorológica donde obtendremos datos de radiación, temperatura, humedad, precipitaciones, velocidad y dirección del viento [3].



a. Fotobiorreactor Raceway



b. Fotobiorreactor Tubular

Figura 1.1 Fotobiorreactores.

Para la ejecución del proyecto SABANA se ha presentado la necesidad de diseñar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). Esto permitirá que el control de la planta sea realizado por el operario desde un PC (Personal Computer) con el software SCADA DAQfactory que estará comunicado con cada una de las 7 tarjetas de adquisición instaladas en la planta, mediante protocolo Ethernet.

Una de las partes más importantes del proyecto será el de programar un sistema de fertirrigación y cosechado. El sistema de control de bombas será programado como parte del SCADA y estará formado por medidores de caudal magnéticos en el cabezal, variadores de frecuencia para el control de las bombas centrífugas y contadores de caudal mecánicos en cada uno de los fotobiorreactores.

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo e implementación de un sistema SCADA que permita un control adecuado e integral de los diferentes elementos que forman la instalación demostrativa de una biorrefinería de microalgas. Para ello durante el desarrollo del sistema se deberán cumplir los siguientes objetivos:

- Diseño de una interfaz amigable que permita una supervisión de forma sencilla para cualquier usuario que haga uso del sistema.
- Cumplimiento de normas nacionales e internacionales sobre trabajos con pantallas de visualización de datos, respetando los estándares de identificación y símbolos de instrumentación.
- El sistema representará el flujo de procesos y composición de los diferentes sistemas de forma que sea fácilmente reconocible los diferentes elementos en la planta real.
- Será implementado un sistema de control de acceso y privilegios para determinados usuarios, de forma que se eviten actuaciones o acceso a determinadas funciones por usuarios no especializados.
- Se creará una pantalla de gestión de alarmas donde se mantendrá un histórico y será necesario realizar la acción de supervisión por un usuario con privilegios para cancelar las alarmas. El sistema enviará avisos por email ante la activación de alarmas.
- El sistema registrará en archivos separados los datos derivados de los sistemas de gestión de usuarios, gestión de alarmas y adquisición de datos del proceso industrial. El formato de los archivos obtenidos será CSV.
- El sistema realizará el control de variables como PH, Oxígeno disuelto y temperatura en los diferentes fotobiorreactores, teniendo en cuenta las características del tipo de cultivo que en cada uno de ellos y parámetros atmosféricos.
- El sistema debe controlar el sistema de fertirrigación, actuando sobre caudales y aditivos necesarios en cada uno de los fotobiorreactores, teniendo en cuenta los procesos de cosechado para mantener los niveles de medio constantes.
- El sistema deberá controlar de forma automática el proceso de cosechado, el cual podrá ser programado para un rango de horas y tener en cuenta parámetros atmosféricos.

En general el objetivo es una herramienta versátil que permita el control de proceso tanto productivos como dirigidos a investigación y que sea lo suficientemente robusta para asegurar las condiciones necesarias de cultivos de microorganismos.

## 1.3 Contexto

En el marco del programa para la investigación e innovación en la Unión Europea “Horizonte 2020” (H2020) y bajo el paraguas de la convocatoria “Blue Growth”, que tiene como objetivo la creación de puestos de trabajo y desarrollo de una economía sostenible e inteligente a partir de océanos, mares y costas [4], se encuentra financiado el proyecto “Sustainable Algae Biorefinery for Agriculture aNd Aquaculture” (SABANA). Este proyecto liderado por la Universidad de Almería (UAL) dirige la puesta en marcha de una biorrefinería de microalgas para la producción de bioestimulantes, biopesticidas, aditivos para piensos y biofertilizantes, utilizando principalmente agua marina y nutrientes provenientes de aguas residuales. El principal objetivo es alcanzar un proceso de residuos cero en la planta demostrativa, con las tecnologías desarrolladas para la producción de biomasa algal y productos derivados. En el marco de este proyecto se ha previsto también la creación de un centro de investigación y desarrollo que dará servicio a diferentes grupos de investigación a nivel internacional y dará acceso online a la información generada [1].

La puesta en marcha y operación de la planta es llevada a cabo por el Grupo de Biotecnología de Microalgas Marinas (BIO-173) de la universidad de Almería y colabora del Grupo de Automática, Robótica y Mecatrónica (TEP-197) en tareas de automatización de los procesos de cultivo. Ambos grupos realizan tareas de desarrollo y mejora de las tecnologías utilizadas para la producción de microalgas a gran escala, estableciendo un centro de investigación y formación capaz de colaborar con otras instituciones de diversa índole.

### 1.4 Resumen de resultados

Una vez finalizada en su mayor parte la construcción de la planta ha sido posible la prueba de todos y cada uno de los sistemas implementados para el control y supervisión de esta. Tras la puesta en marcha del sistema, han sido obtenidos unos resultados positivos teniendo en cuenta el cumplimiento de las especificaciones impuestas en el proyecto y la valoración final de los operadores mediante la guía GEDIS.

Para el diseño del sistema SCADA ha sido utilizado el software DAQFactory de Azeotech [5], que aporta las herramientas suficientes para el diseño gráfico y es compatible con las tarjetas de adquisición utilizadas en la planta Labjack UE9 [6]. Tanto el funcionamiento del software DAQFactory, como el uso y configuración de los dispositivos Labjack serán descrito a lo largo de la memoria.

La arquitectura hardware del sistema ha sido resuelta con una red ethernet que comunica el ordenador de control principal con las diferentes tarjetas de adquisición instaladas en la planta, donde cada sistema (grupos de fotobiorreactores, cabezal de riego, estación meteorológica) está controlado por una tarjeta de adquisición a la que están conectados los diferentes sensores y actuadores que lo componen.

Como resultado del diseño gráfico y arquitectura de la herramienta SCADA, se ha logrado obtener una estructura de pantallas sencilla facilitando así el control y supervisión de cada uno de los sistemas que componen la planta. Han sido utilizados gráficos y controles de gran tamaño lo que permitirá el uso mediante dispositivos de acceso remotos y facilita la supervisión por parte del operario (Ver figura 1.2).

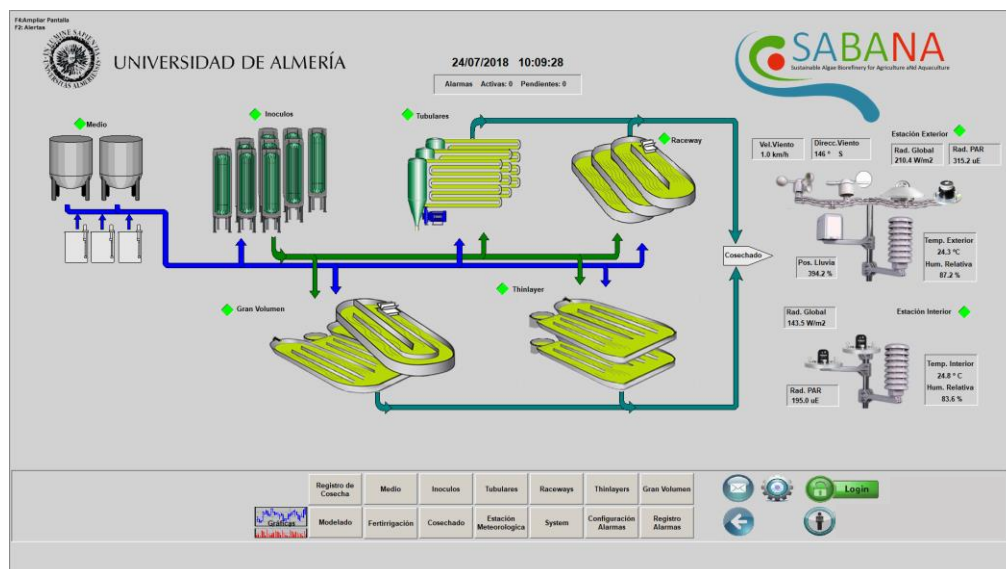


Figura 1.2 Pantalla principal del sistema SCADA desarrollado.

Para el registro de datos, han sido implementadas funciones que permiten guardar conjuntos de datos diarios o mensuales, creando archivos diferenciados entre los diferentes sistemas para facilitar su uso y procesado por parte tanto del personal investigador como del personal técnico encargado de operar la planta.

Durante la puesta en marcha de la planta y el sistema SCADA ha sido necesario resolver diferentes problemas que han ido apareciendo. Ha sido necesaria la implementación de una función para el análisis de la red ethernet y aumentar la robustez del sistema ante fallos de conexión. Además, se ha hecho hincapié en el sistema de alarmas como principal ayuda a la supervisión.

El sistema es capaz de realizar de forma automática el control de los parámetros de cultivo, además se ha realizado un especial esfuerzo en la automatización de los sistemas de fertirrigación y cosechado lo que facilita en gran medida los procesos realizados en la planta.

La evaluación realizada por los operarios de la planta ha sido más que satisfactoria llegando a obtener una puntuación de 4.36 según el método indicado en la guía GEDIS. Los principales puntos fuertes han sido aquellos relacionados con la navegación entre distintas áreas debido a la accesibilidad de los menús, a una arquitectura poco profunda y diseños sencillos pero cercanos a la realidad de cada uno de los fotobiorreactores (Ver Figura 1.3), que facilitan la supervisión de los parámetros de los elementos que conforman la planta. Los operarios también han señalado como puntos a mejorar la reducción de la densidad de color en alguna de las pantalla diseñadas, la modificación de algunos mandos de control o etiquetas de información que faciliten la supervisión y la simplificación en la configuración de los procesos automatizados.

El resultado final cumple los principales objetivos y especificaciones del proyecto, además de suplir necesidades que han ido apareciendo durante la construcción de la planta.

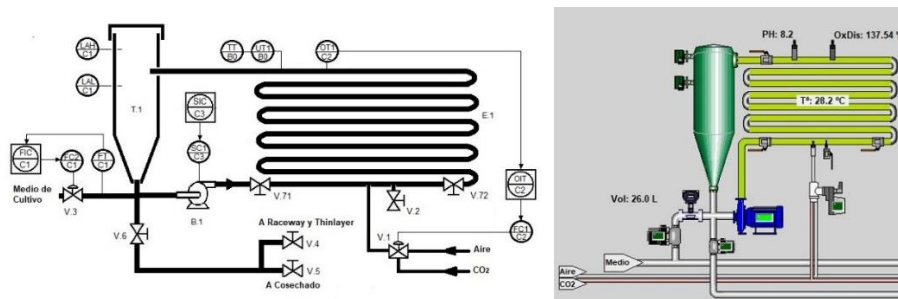


Figura 1.3 Representación de fotobiorreactor tubular

### 1.5 Planificación temporal

Este apartado trata de definir el tiempo efectivo que ha sido invertido en la realización de este trabajo, desde los estudios previos para adquirir los conocimientos necesarios hasta la redacción y finalización de la memoria. Esta información se encuentra presentada en la tabla 1.1 .

FECHA	TAREAS REALIZADAS	DURACIÓN
<b>Octubre 2017</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formación sobre la herramienta para el diseño de sistemas SCADAs DAQFactory.</li> <li>Formación sobre sistemas de cultivo de microalgas</li> </ul>	10 días

Tabla 1.1. Planificación temporal del trabajo.

FECHA	TAREAS REALIZADAS	DURACIÓN
<b>Noviembre 2017</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de las necesidades a partir de la documentación aportada sobre la planta proyectada, identificación de componentes, sensores y actuadores que formaran parte del sistema SCADA.</li> <li>• Formación sobre los dispositivos Labjack y elementos auxiliares usados para la conexión en red de la planta.</li> </ul>	14 días
<b>Diciembre 2017</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montaje y preparación del equipo de trabajo, instalación del software y configuraciones básicas del entorno de trabajo.</li> <li>• Redacción del Anteproyecto</li> </ul>	9 días
<b>Enero 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de normativa aplicable</li> <li>• Diseño de arquitectura del sistema y estructura básica de las pantallas.</li> <li>• Instalación del equipo en la planta y configuración de los elementos que componen la red de comunicación.</li> </ul>	15 días
<b>Febrero 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y desarrollo de interfaz gráfica del sistema de supervisión y control.</li> <li>• Creación y configuración de las alarmas del sistema y una estructura de archivos para el registro de datos.</li> <li>• Programación y prueba del sistema de control de pH de los diferentes sistemas instalados.</li> </ul>	20 días
<b>Marzo 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación y prueba de herramientas y funciones auxiliares del sistema como controles usuarios, email y sistema de seguridad ante fallos de conexión.</li> <li>• Modificaciones del sistema para adecuarlo a los cambios hechos en la planta durante su puesta en marcha frente al proyecto original.</li> <li>• Diseño de torre e instalación de sensores para estación meteorológica exterior.</li> </ul>	15 días
<b>Abril 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación y puesta en marcha del sistema de fertirrigación automático.</li> <li>• Correcciones finales sobre el diseño gráfico del interfaz.</li> <li>• Redacción de memoria TFG.</li> </ul>	21 días
<b>Mayo 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación y puesta en marcha del sistema automático de cosechado.</li> <li>• Redacción de memoria TFG.</li> </ul>	14 días
<b>Junio 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valoración por el método GEDIS el sistema diseñado</li> <li>• Redacción de memoria TFG.</li> </ul>	15 días
<b>Octubre Diciembre 2018</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finalización de la memoria TFG.</li> </ul>	11 días

Tabla 1.1. Planificación temporal del trabajo (Continuación).



El tiempo efectivo de dedicación a la realización del proyecto en jornadas de 5 horas al día, ha sido equivalente a 145 días, lo que equivale a un total de 725 horas de trabajo. El desarrollo del sistema ha debido adaptarse a la puesta en marcha de los diferentes sistemas que componen la planta por lo que las principales fases de desarrollo se han alargado en el tiempo.

## 1.6 Competencias utilizadas en el TFG

El Grado en Ingeniería Electrónica Industrial constituye unos estudios con un marcado contenido multidisciplinar, otorgando a los titulados la formación adecuada para abarcar los problemas industriales desde diversos ámbitos del conocimiento. Durante el desarrollo de este trabajo de fin de grado han sido trabajadas diferencias competencias relacionadas con los conocimientos que debe poseer el ingeniero acerca de los aspectos teóricos y prácticos de la Ingeniería Industrial, así como de las herramientas necesarias para aplicar dichos conocimientos a la práctica.

Durante la realización del trabajo ha sido necesaria la ampliación de conocimientos sobre áreas relacionadas con la biología marina para poder comprender los procesos llevados a cabo en la planta. Además, se ha trabajado estrechamente con el equipo encargado del funcionamiento de la planta aportando ideas y soluciones a las necesidades de la planta, así como realizando análisis del funcionamiento de los elementos y procesos que posteriormente han sido utilizados para toma de decisiones. 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.
- CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

Durante el desarrollo de este trabajo ha sido necesario trabajar una serie de competencias transversales sin las cuales no hubiera sido posible alcanzar los resultados obtenidos y que completan un perfil profesional en el área de la ingeniería. El uso de diferentes herramientas para el trabajo como para la búsqueda de información y la capacidad de trabajo en equipo o de forma autónoma según las necesidades, así como el compromiso tanto con los objetivos del proyecto como con factores medioambientales, se encuentran relacionados con las siguientes competencias transversales:

- UAL 1 - Conocimientos básicos de la profesión
- UAL 2 - Habilidad en el uso de las TIC
- UAL 3 - Capacidad para resolver problemas
- UAL 4 - Comunicación oral y escrita en la propia lengua
- UAL 5 - Capacidad de crítica y autocrítica
- UAL 6 - Trabajo en equipo

- UAL 8 - Compromiso ético
- UAL 9 - Capacidad para aprender a trabajar de forma autónoma

Durante el desarrollo de este proyecto ha sido necesario realizar tareas auxiliares como la instalación de sensores y configuración de cuadros eléctricos con lo que ha sido trabajadas todas aquellas competencias específicas relacionadas con la electrotecnia y electrónica analógica. De igual para obtener las soluciones implementadas en el sistema SCADA ha sido necesario ampliar conocimientos en sistemas hidráulicos y principalmente en sistemas de cultivo de microalgas. Todas las tareas realizadas han tenido como objetivo la automatización de los procesos y para ello ha debido de trabajarse aquellas competencias relacionadas con la automatización, informática industrial y comunicaciones. Pueden señalarse como las principales competencias específicas trabajadas las siguientes:

- E-CT3 - Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- E-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 Industria.
- E-CB3 - Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.

La realización de tareas para controlar los sistemas de bombeo y control de parámetros de cultivo teniendo en cuenta las señales de los diversos elementos sensores han trabajado las siguientes competencias:

- E-CRI5 - Conocimientos de los fundamentos de la electrónica
- E-CRI6 - Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- E-CTEE2 - Conocimiento de los fundamentos y aplicaciones de la electrónica analógica
- E-CTEE5 - Conocimiento aplicado de instrumentación electrónica
- E-CTEE10 - Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones.
- E-CTEE11 - Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial.

La realización de la propia memoria de proyecto y su posterior presentación trabaja la competencia de:

- E-TFG - Ejercicio original a realizar individualmente y presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la Ingeniería Industrial de naturaleza profesional en el que se sintetizan e integran las competencias adquiridas en la enseñanza.

## 1.7 Estructura de la memoria TFG

Para la realización de la memoria de este proyecto y con el objetivo de exponer lo más detalladamente posible todos los elementos que han formado parte del proceso y los pasos dados para su ejecución, la información ha sido organizada en seis capítulos.

El primer capítulo ha aportado una visión general de todos los aspectos del proyecto, desde las motivaciones que lleva a su realización hasta un resumen general de los resultados obtenidos.

En el segundo capítulo se realiza una descripción detallada de la planta, donde se explican los procesos que son llevados a cabo en el proceso productivo de microalgas y los elementos que intervienen en cada uno de los pasos.

En el capítulo tercero son detalladas las especificaciones dadas por los diferentes agentes que intervienen en el proyecto SABANA y las diferentes normativas que han sido tenidas en cuenta para el diseño del sistema SCADA.

En el cuarto capítulo se definirán las fases de diseño y serán detallados los trabajos que ha sido realizados en cada una de las fases hasta obtener el resultado final.

El quinto capítulo presenta los resultados finales obtenidos una vez puesta en marcha la planta. Además, incluirá el manual de usuario con la documentación necesaria para trabajar con la herramienta y la evaluación de los operadores mediante el mediante la guía GEDIS.

En el capítulo seis se exponen las conclusiones a la que se han llegado una vez finalizado el proyecto. Por ultimo se han añadido como apéndices información técnica sobre los módulos de comunicación utilizados y el código de las principales funciones implementadas en el sistema.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Este capítulo trata de describir los procesos llevados a cabo en la planta así como los principales elementos involucrados en estos procesos. Los siguientes apartados permitirán asimilar el funcionamiento de las instalaciones sobre las que ha sido realizado este proyecto y facilitará la comprensión de la herramienta obtenida como resultado.

### 2.1 Diagrama conceptual del funcionamiento de la planta

La planta demostrativa ha sido instalada en el centro de investigación y formación agraria IFAPA (Instituto Investigación y Formación Agraria y Pesquera Andaluz) situado en La Cañada, Almería. La planta utiliza alrededor de 5.000 m<sup>2</sup> donde se realizan los procesos de cultivo de microalgas, almacenamiento de nutrientes y acopio de agua para su propio abastecimiento (Ver figura 2.1).

El centro cuenta con un laboratorio para uso del equipo investigador y donde se encuentra instalado el PC principal con el sistema SCADA para el control de la planta.

La planta cuenta con una nave de 400 m<sup>2</sup> donde se encuentran los equipos que forman parte del bombeo de medio, fertirrigación, producción de CO<sub>2</sub>, almacenamiento de nutrientes y equipos para la obtención de biomasa. En la cubierta de esta nave se encuentra también instalada la estación meteorológica exterior.

La instalación cuenta con un invernadero multitúnel de aproximadamente 700 m<sup>2</sup> donde se encuentran instalados el sistema de ozonizado, las columnas de inóculos y los fotobiorreactores tubulares. Un segundo invernadero con una superficie de 1.200 m<sup>2</sup> contiene los fotobiorreactores Thinlayers y Raceways de menor tamaño. Por último, los dos fotobiorreactores Raceway y Thinlayer de gran volumen se encuentran en una parcela de 2.100 m<sup>2</sup> al aire libre.



Figura 2.1 Distribución de la planta en centro IFAPA La Cañada.

El proceso llevado a cabo en la planta comienza la inoculación de un pequeño volumen de medio en las columnas de inóculos. Cuando el cultivo alcanza la densidad suficiente, es diluido en fotobiorreactores de mayor tamaño donde vuelve a desarrollarse hasta alcanzar las características necesarias para su cosechado y procesado hasta obtener biomasa. El medio de cultivo con los nutrientes necesarios es producido por el cabezal de riego y bombeado hasta el fotobiorreactor donde sea necesario mediante la red de tuberías existentes (Ver figura 2.2).

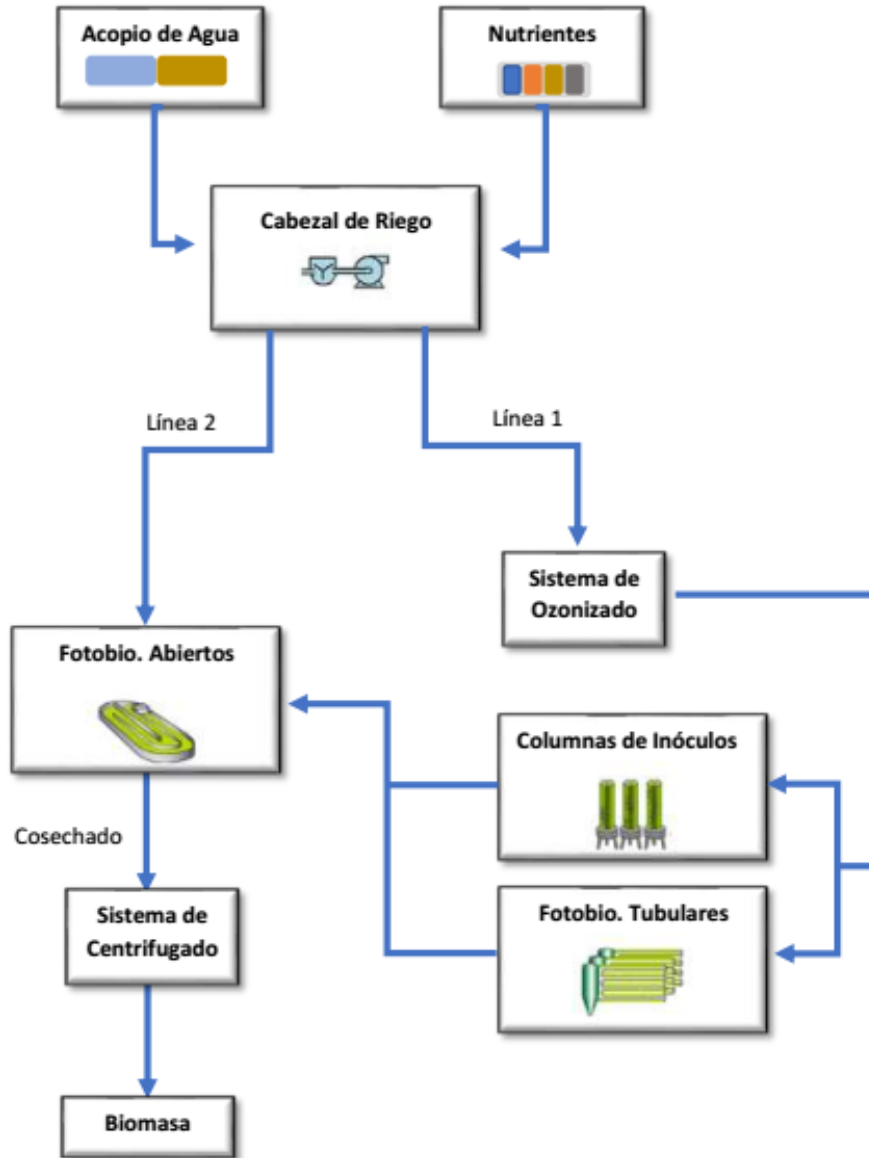


Figura 2.2 Diagrama conceptual de funcionamiento de la planta.

### 2.1.1. Fases del proceso

Buscando aumentar la eficiencia del proceso y aumentar en la productividad de microalgas, el sistema más eficiente es el cultivo en varias fases, donde se aumenta el volumen de cultivo de forma escalonada para evitar problemas de fotoxidación, deficiencia en la captación lumínica o incluso gradientes de acidez que podrían ocurrir si la relación entre la concentración de microorganismo y

volumen de medio no es correcta [1]. Debido a esto se han diferenciado en tres fases los procesos llevados a cabo en la planta:

- Inoculación de fotobiorreactores cerrados.
- Producción en fotobiorreactores abiertos.
- Cosechado y procesado.

#### 2.1.1.1 Inoculación de fotobiorreactores cerrados

La primera fase en la producción de microalgas se centra en el crecimiento del microorganismo, aportando las condiciones necesarias para su máximo desarrollo. Debido a que es un proceso delicado se utilizan biorreactores cerrados, esto permite un mayor control de los parámetros del proceso y previene la posible contaminación del cultivo por parte de otros microorganismos [1].

El proceso se inicia en un grupo de columnas de inóculos donde se desarrolla inicialmente el cultivo sobre 5.000 L de medio (Ver figura 2.3.a). Una vez se alcanza una concentración óptima de microalgas, se procede a inocular un fotobiorreactor tubular con capacidad de 20.000 L de medio con el volumen obtenido en las columnas de inóculos (Ver figura 2.3.b). Una vez desarrollado lo suficiente el cultivo será utilizado para inocular los fotobiorreactores abiertos, que es donde realmente se realiza la producción a gran escala de biomasa.

La planta cuenta con 3 grupos de columnas de inóculos y 3 fotobiorreactores tubulares de forma que puede llegar a producir hasta 60.000 L de inóculo cada 36 h para mantener abastecidos los 7 fotobiorreactores abiertos que suman alrededor de 300.000 L de capacidad de cultivo.



a. Columnas de inóculos



b. Fotobiorreactores tubulares

Figura 2.3 Fotobiorreactores cerrados.

Con el objetivo de evitar la contaminación de agentes biológicos externos el agua o medio utilizado es tratado por el sistema de ozonizado antes de ser introducido en la columna. Para mantener las condiciones propicias del cultivo dentro de los biorreactores cerrados es necesario añadir oxígeno mediante el burbujeo constante de aire, esto además consigue una agitación en el cultivo que evita gradientes de temperatura, nutrientes u oxígeno que afectaría de forma negativa al cultivo. Uno de los factores críticos es el pH del medio que será mantenido alrededor de 7-8 usando  $\text{CO}_2$  como regulador de acidez ya que disminuye el valor de pH al reaccionar con el agua del medio y formar carbonatos [1].

2.1.1.2 Producción en fotobiorreactores abiertos

Una vez el cultivo alcanza una concentración adecuada es posible la inoculación en fotobiorreactores abiertos donde se trabaja un gran volumen de medio con el objetivo de producir biomasa en gran cantidad. La planta utiliza en esta fase fotobiorreactores abiertos de 2 tipos: a) Raceway; b) ThinLayers. Esta segunda fase se lleva a cabo en 2 áreas diferenciadas, la primera consta de 3 fotobiorreactores Raceway con una capacidad de 3.000 L cada uno (Ver figura 2.4.a) y 2 fotobiorreactores ThinLayer con una capacidad de 2.000 L de medio cada uno (Ver figura 2.4.c), estos son utilizados además de para producción e investigación para producir el cultivo suficiente y necesario para inocular los fotobiorreactores de gran volumen que forman parte de una segunda área y que consta de 1 fotobiorreactor Raceway de 140.000 L de capacidad (Ver figura 2.4.b) y 1 fotobiorreactor ThinLayer de 21.000 L para la producción a gran escala.



a. Raceways de 90 m<sup>2</sup>



b. Raceway de 700 m<sup>2</sup>



c. Fotobiorreactor Thinlayer de 2.000 L.

Figura 2.4 Fotobiorreactores abiertos.

Independientemente de las características técnicas del tipo y tamaño de los fotobiorreactores que se detallaran más adelante, el proceso de cultivo se realiza de forma similar en cada uno de ellos. Debido a la exposición a los agentes atmosféricos, en esta fase debe hacerse un mayor esfuerzo en el control de los parámetros necesarios para el desarrollo del cultivo. Como en la fase inicial de cultivo, es necesario producir una agitación del medio por lo que los fotobiorreactores Raceway constan de una rueda de paletas motorizada que mantiene el cultivo en movimiento continuo, en el caso del tipo ThinLayer el movimiento principalmente se consigue por gravedad. Respecto al pH y cantidad de oxígeno disuelto, aun encontrándose el cultivo en contacto con el aire, es posible la aparición de gradientes debido a la altura de la lámina de cultivo para lo que se disponen tanques y fosos donde se inyecta aire y CO<sub>2</sub> mediante burbujeo desde el punto inferior [2]. Todo ello realizado por el control automático programado en el sistema.

### 2.1.1.3 Cosechado y procesado

Una vez la población de microalgas ha alcanzado la fase de desarrollo idónea se procede al cosechado del cultivo. Este proceso se realiza mediante la extracción a través de bombas sumergidas en los fosos de cada uno de los fotobiorreactores donde se obtiene la mayor concentración de cultivo. El volumen extraído es llevado hasta un tanque de almacenamiento, desde donde se alimentará el sistema de centrifugado que se encargará de separar el agua de la biomasa. El agua obtenida se vuelve a almacenar en un nuevo tanque y será recirculada a través de la línea 2 cuando vuelva a introducirse medio en alguno de los fotobiorreactores abiertos.

El sistema de cosechado se encuentra automatizado lo que permite extraer un determinado volumen desde el fotobiorreactor deseado. Sin embargo, en la actual fase constructiva el sistema de centrifugado necesita de un operador in situ que controle el proceso para la obtención de biomasa.

## 2.1.2. Elementos

### 2.1.2.1 Cabezal de riego

La planta cuenta con un sistema encargado de bombear el medio líquido necesario hasta cualquiera de los sistemas donde se produce el cultivo de microalgas, mediante una red de conductos. El sistema consta dos bombas centrífugas para alimentar la planta y de depósitos tanto para acopio de agua, como para acopio de nutrientes diluidos que son introducidos por bombas inyectoras controladas por el sistema de fertirrigación programado en el SCADA.

Con el objetivo de mantener un correcto suministro de agua sobre el sistema de bombeo, la planta consta de 2 depósitos de agua de 150 m<sup>3</sup> de capacidad [8], donde se almacenarán agua residual en uno de ellos y agua salada o dulce según las necesidades de la planta. El agua utilizada dependerá de las características del tipo de cepa de microalga con la que se esté trabajando y la selección será realizada por un operario mediante válvulas manuales que definirán el depósito utilizado y el circuito sobre el que se trabajara (Ver figura 2.5).



Figura 2.5 Depósitos de acopio y válvulas de selección.



El sistema de fertirrigación necesitara mantener almacenados por separado cada uno de los nutrientes en una dilución conocida. Para ello se disponen de 4 tanques cilíndricos reforzados con capacidad cada uno de 10 m<sup>3</sup> (Ver figura 2.6) [8], desde donde se extraerán los nutrientes mediante bombas inyectoras. En cada uno de los tanques se encuentra un sensor de nivel en la parte inferior para informar al sistema SCADA cuando el nivel mínimo ha sido alcanzado.



Figura 2.6 Tanques de nutrientes diluidos.

En la planta existen 2 líneas para el bombeo de medio, el primero ha sido diseñado para un mayor caudal y se encargara de aportar hasta 16 m<sup>3</sup> de caudal de medio en los fotobiorreactores del tipo Raceway y ThinLayer debido a su mayor superficie. El segundo circuito ha sido diseñado para aportar hasta 11 m<sup>3</sup> de medio en las columnas de inóculos y fotobiorreactores tubulares de menor volumen.

El bombeo en cada una de las líneas es realizado mediante una bomba centrífuga accionada mediante un variador de frecuencia, además consta de un caudalímetro magnético para el cálculo del medio bombeado y para permitir la implementación de un lazo de control sobre el caudal. El sistema consta también de 8 bombas inyectoras (4 para cada una de las 2 líneas) que introducirán el volumen de nutrientes demandado en la línea requerida (Ver figura 2.7).

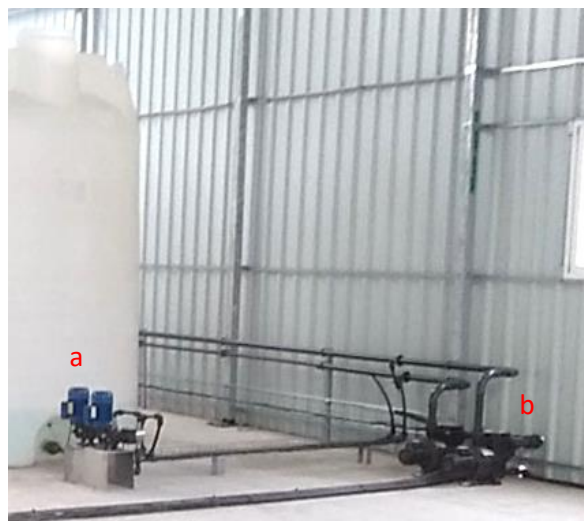


Figura 2.7 Sistema de bombeo de medio.  
a) Bombas Inyectoras; b) Bombas centrífugas.

En la figura 2.8 queda representados los principales elementos que toman parte en el sistema y la relación con los sistemas de control implementados en la herramienta SCADA. Los identificadores y nomenclatura utilizada se encuentran explicados en la tabla 2.1.

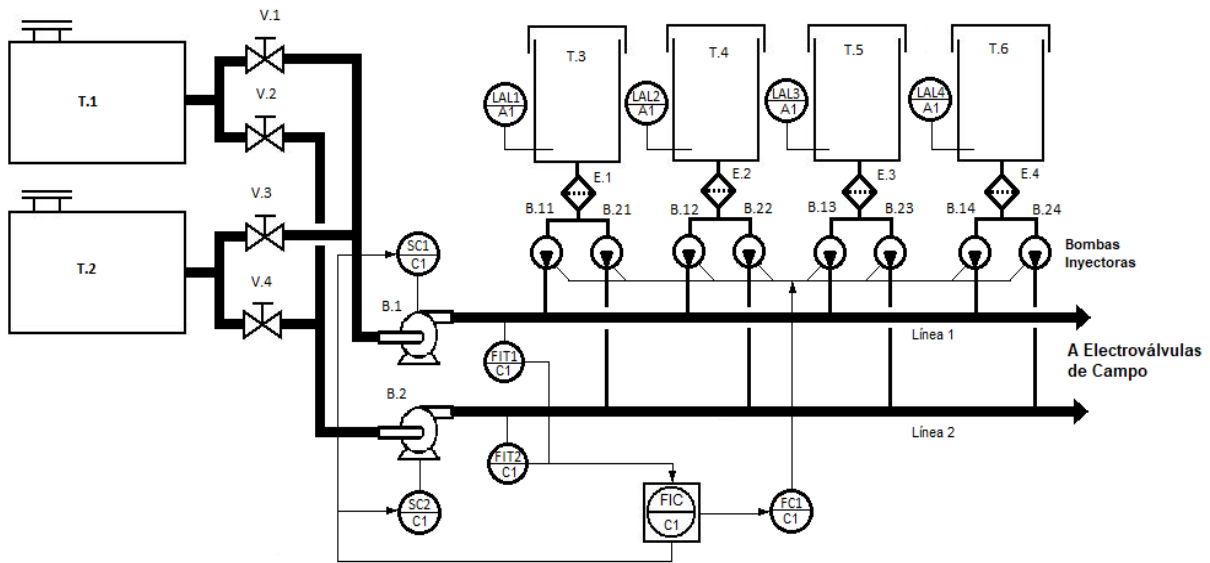


Figura 2.8 Diagrama de cabezal de riego.

Válvulas		Bombas	
V.1	Válvula manual agua residual a línea 1	B.1	Bombas centrífuga de medio en línea 1
V.2	Válvula manual agua residual a línea 2	B.2	Bomba centrífuga de medio en línea 2
V.3	Válvula manual agua limpia a línea 1	B.1x	Bombas inyectoras de nutrientes línea 1
V.4	Válvula manual agua limpia a línea 2	B.2x	Bombas inyectoras de nutrientes línea 2
Equipos		Tanques	
E.1-4	Filtros de residuos sólidos	T.1	Tanque de acopio de agua residual
		T.2	Tanque de acopio de agua limpia
		T.3-6	Tanques de nutrientes
Símbolos ISA			
LALx	Alarma de nivel mínimo	SCx	Control de velocidad
FCx	Control de flujo	FIC	Sistema de control de flujo
FIT	Indicador y transmisor de flujo	C1	Control sobre proceso de fertirrigación

Tabla 2.1 Elementos del cabezal de riego.

### 2.1.2.2. Turbosoplantes

La planta contiene un circuito de aire a presión para suministrar el burbujeo de aire necesario en los fotobiorreactores y columnas de inóculos para el correcto desarrollo de las microalgas. El circuito es alimentado mediante 2 bombas turbosoplantes (Ver figura 2.9) que proporcionan el caudal y presión necesaria para alimentar todo el circuito. La tabla 2.2 contiene las principales características técnicas del modelo 35388-2450 del fabricante AstralPool [9] utilizado en la planta.

Modelo	Potencia	Caudal	Presión
35388-2450	0.85 kW	145 m <sup>3</sup> /h	160 mbar

Tabla 2.2 Características de turbosoplante AstralPool [9].



Figura 2.9 Bombas turbosoplantes AstralPool.

### 2.1.2.3. Generador de CO<sub>2</sub>

La planta cuenta con un sistema propio para la generación de CO<sub>2</sub> a partir de un quemador de combustible diésel (Ver figura 2.10). El sistema enfría primeramente los gases de combustión mediante un intercambiador de calor, acto seguido son introducidos mediante una bomba turbosoplante en un depósito a presión para su posterior inyección en los sistemas de cultivo de microalgas [10]. El control de la alimentación en cada sistema será controlado mediante electroválvulas para su inyección y reguladores mecánicos de presión.

Al utilizarse la inyección directa de los gases de combustión, para reducir el coste energético, sin un proceso previo de separación de gases, es necesario aumentar la columna de medio donde se realiza la inyección de CO<sub>2</sub> para aumentar su absorción [2]. El sistema esta dimensionado para producir 60 kg/día de CO<sub>2</sub> que es el consumo de la planta con todos los fotobiorreactores a pleno rendimiento [8].



Figura 2.10 Sistema generador de CO<sub>2</sub>  
 a) Quemador; b) Intercambiador; c) Turbosoplante; d) Depósito

2.1.2.4. Ozonizador

Para evitar una posible contaminación por agentes biológicos externos como hongos u otras cepas de microalgas. La planta consta de un tanque hermético intermedio tratado con ozono desde donde se alimentan los fotobiorreactores tubulares y columnas de inóculos. El nivel de medio en el tanque se mantiene de forma automática mediante sensores de nivel y una electroválvula para controlar la entrada de medio, además de un sistema de bombeo de Ozono (Ver figura 2.11).

El sistema consta de un pequeño generador de ozono (Ver Tabla 2.3) que hace pasar aire por unos electrodos y genera una descarga de tensión eléctrica llamada "Efecto Corona", esto produce la separación de los dos átomos que forman cada una de las partículas de oxígeno contenidas en el aire introducido y a su vez produce que estos átomos se unan de tres en tres creándose una nueva molécula de ozono (O<sub>3</sub>). El ozono es mezclado con el medio por burbujeo en una columna y almacenado en un depósito de 2.000 L cerrado donde se producirá la oxidación y eliminación de microorganismos [11].

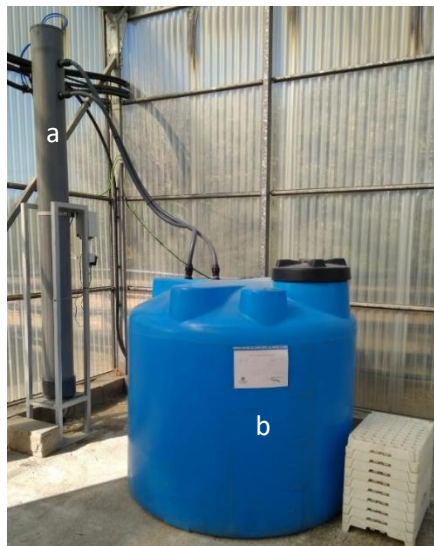


Figura 2.11 Sistema de Ozonizado.  
a) Columna de mezcla; b) Depósito de medio.

Modelo	Potencia	Producción de Ozono
PCS-Pro	8.4-15.6 W	220-440 mg/h

Tabla 2.3 Características generador de ozono PCS-Pro [12].

2.1.2.5. Inóculos

En una primera fase se utilizan fotobiorreactores de tipo columna denominados como inóculos, donde es posible un mayor control de las condiciones necesarias para el desarrollo del cultivo. En esa fase se produce un burbujeo continuo de aire para aumentar los niveles de oxígeno disuelto y un control del nivel de pH mediante la adición de CO<sub>2</sub> controlado por electroválvulas. Existen 3 grupos de inóculos que a su vez se componen de 3 columnas de 1 m<sup>3</sup> de capacidad cada una [8], donde el control de los parámetros se realiza de forma conjunta para cada grupo de inóculos.

En la figura 2.12 queda representados los principales elementos que toman parte en el sistema y la relación con los sistemas de control implementados en la herramienta SCADA. Los identificadores y nomenclatura utilizada se encuentran explicados en la tabla 2.4.

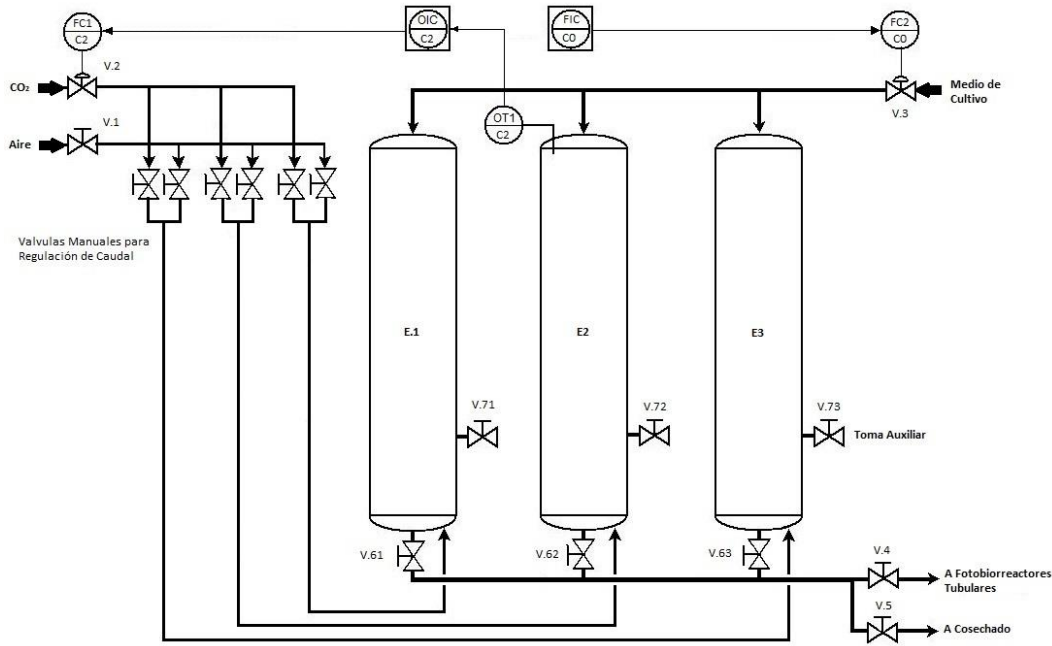


Figura 2.12 Diagrama de columnas de inóculos

Válvulas			
<b>V.1</b>	Electroválvula N.C. de CO <sub>2</sub>	<b>V.4</b>	Válvula a red de fotobiorreactores
<b>V.2</b>	Electroválvula N.A. de Aire	<b>V.5</b>	Válvula a red de cosechado
<b>V.3</b>	Electroválvula de medio	<b>V.6x</b>	Válvula para extracción de cultivo
		<b>V.7x</b>	Válvula auxiliar
Equipos			
<b>E.1-3</b>	Columnas de Inóculos		
Símbolos ISA			
<b>FIC</b>	Sistema de control de flujo	<b>OT1</b>	Transmisor de pH
<b>OIC</b>	Sistema de control de pH	<b>C0</b>	Lazo de control sobre medio ozonizado
<b>FCx</b>	Control de flujo	<b>C2</b>	Lazo de control sobre nivel de pH

Tabla 2.4 Elementos de columnas de inóculos.

### 2.1.2.6. Fotobiorreactores Tubulares

Los fotobiorreactores totalmente cerrados son potencialmente utilizables para la producción a gran escala de cultivos de microalgas. La mayoría están contruidos con plástico transparente o cristal, donde los cultivos son recirculados mediante una bomba, mejorando así la asimilación del CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> entre el líquido del medio. Estos reactores presentan una gran superficie iluminada, que los hace ideales para trabajar al aire libre. Sus principales inconvenientes obtienen un bajo coeficiente de transferencia de materia, y la dificultad de escalado. El aumento del diámetro o de su longitud puede afectar en gran medida al cultivo por la aparición de gradientes de CO<sub>2</sub> y acumulaciones de O<sub>2</sub> que produce la inhibición de la fotosíntesis [1].

Existen tres fotobiorreactores tubulares instalados en la planta del proyecto SABANA del tipo Horizontal/Serpentina, tienen una longitud de 30 m y albergan un volumen de 9 m<sup>3</sup> cada uno. En cada

uno de ellos se realiza un control sobre el nivel de pH y Oxígeno disuelto mediante la inyección de CO<sub>2</sub> a través de una electroválvula, y la recirculación es producida mediante una bomba centrífuga controlada por un variador de frecuencia. El montaje del variador permite variar la velocidad de recirculado y reducir el consumo energético en los periodos nocturnos. En la figura 2.13 queda representados los principales elementos que toman parte en el sistema y los identificadores y nomenclatura utilizada se encuentran explicados en la tabla 2.5.

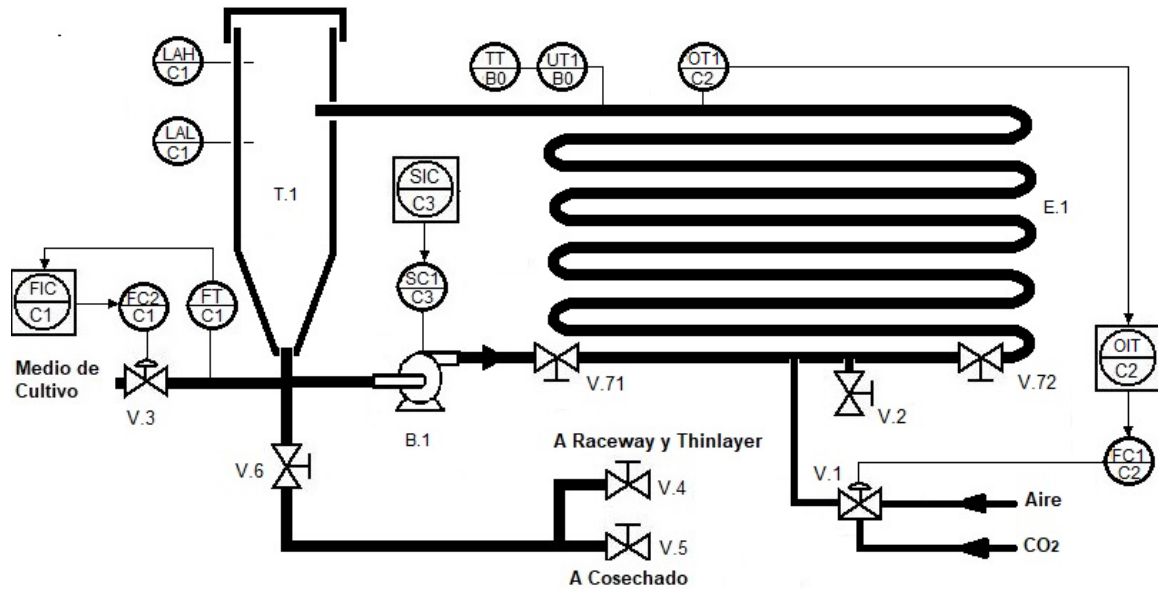


Figura 2.13 Diagrama de fotobiorreactor tubular.

Válvulas			
V.1	Electroválvula 3/2 de Aire/CO <sub>2</sub>	V.4	Válvula a red de fotobiorreactores
V.2	Válvula auxiliar	V.5	Válvula a red de cosechado
V.3	Electroválvula de medio	V.6	Válvula para extracción de cultivo
		V.7x	Válvulas auxiliares
Bombas			
B.1	Bomba centrífuga para recirculado de medio		
Equipos			
E.1	Serpentín de fotobiorreactor tubular		
Tanques			
T.1	Tanque acumulador		
Símbolos ISA			
FIC	Sistema de control de flujo	TTx	Transmisor de temperatura
OIC	Sistema de control de pH	C0	Lazo de control sobre medio ozonizado
SIC	Sistema de control de velocidad	C2	Lazo de control sobre nivel de pH
SCx	Control de velocidad	C3	Lazo de control de velocidad de actuadores
FTx	Transmisor de flujo	B0	Lazo de Adquisición de datos de procesos
OT1	Transmisor de pH	LAH	Alarma de nivel máximo
UT1	Transmisor de Oxígeno disuelto	LAL	Alarma de nivel mínimo

Tabla 2.5 Elementos de fotobiorreactor tubular.

2.1.2.7. Fotobiorreactores Raceways

Los fotobiorreactores Raceway consisten en un circuito cerrado donde se hace circular de forma continua el medio de cultivo. El impulso se realiza mediante una rueda de paletas que permite la homogeneización de nutrientes y microorganismos (Ver figura 2.14). El principal inconveniente de este tipo de fotobiorreactores abiertos es que pueden verse afectados por la contaminación de otras especies de algas o microorganismos, afectando así su productividad. En la tabla 2.6 se observan el número de fotobiorreactores Raceway instalados en la planta y sus dimensiones.

La inyección de aire y CO<sub>2</sub> mediante dos electroválvulas independientes se realiza en un foso situado justo después de la rueda de paletas, que permite una absorción más eficiente de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Además, en el foso se encuentra una bomba sumergida que realizara la acción de extraer el material de cosechado. En el circuito de entrada de medio se encuentra instalada una electroválvula para controlar la entrada de medio y un caudalímetro mecánico que enviara al sistema de adquisición información sobre los litros introducidos.

En la figura 2.14 queda representados los principales elementos que toman parte en el sistema y la relación con los sistemas de control implementados en la herramienta SCADA. Los identificadores y nomenclatura utilizada se encuentran explicados en la tabla 2.7.

Elemento	Unid.	Longitud	Ancho	Prof. Lámina	Volumen Total	Altura Foso	Diámetro Foso	Volumen Foso
Rw 90 m <sup>2</sup>	3	30 m	3 m	15 cm	13.5 m <sup>3</sup>	1.4 m	1.13 m	1.1 m <sup>3</sup>
Rw 700 m <sup>2</sup>	1	40 m	16 m	15 cm	140 m <sup>3</sup>	2.7 m	2.33 m	9 m <sup>3</sup>

Tabla 2.6 Características fotobiorreactores Raceways. [8]

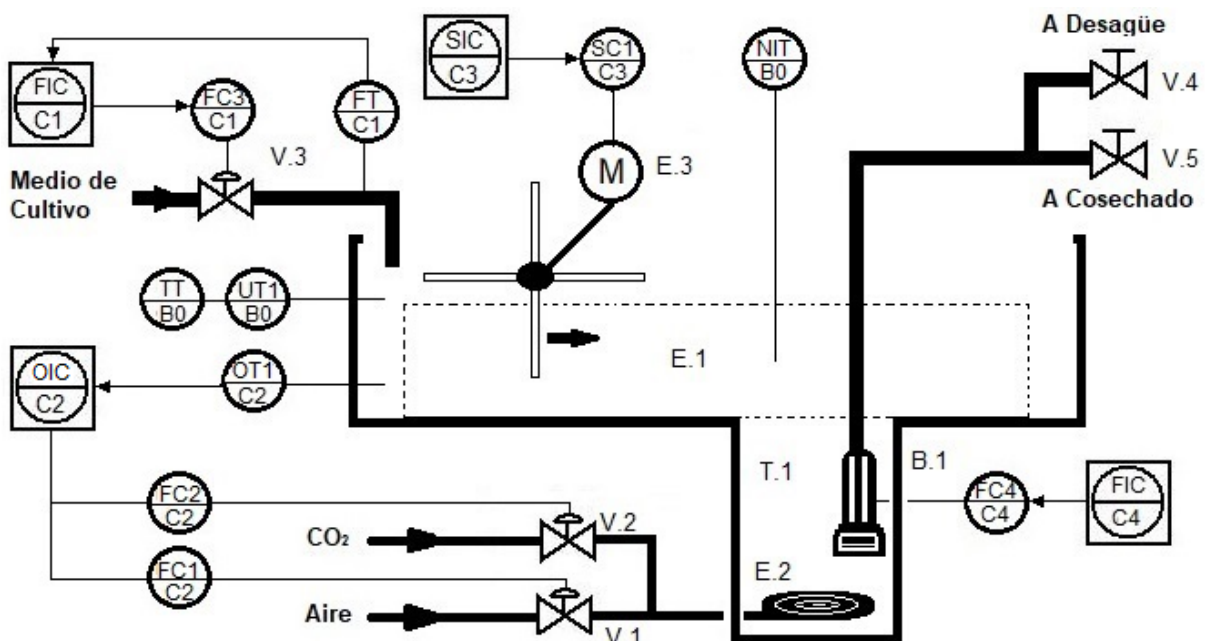


Figura 2.14 Diagrama de fotobiorreactor Raceway.

<b>Válvulas</b>			
<b>V.1</b>	Electroválvula Aire	<b>V.4</b>	Válvula a red de desagüe
<b>V.2</b>	Electroválvula CO <sub>2</sub>	<b>V.5</b>	Válvula a red de cosechado
<b>V.3</b>	Electroválvula de medio		
<b>Bombas</b>			
<b>B.1</b>	Bomba sumergida para cosechado		
<b>Equipos</b>			
<b>E.1</b>	Fotobiorreactor Raceway	<b>E.3</b>	Motorreductor de rueda de paletas
<b>E.2</b>	Elemento de burbujeo		
<b>Tanques</b>			
<b>T.1</b>	Foso de fotobiorreactor		
<b>Símbolos ISA</b>			
<b>FIC</b>	Sistema de control de flujo	<b>TTx</b>	Transmisor de temperatura
<b>OIC</b>	Sistema de control de pH	<b>NIT</b>	Transmisor e indicador de CO <sub>2</sub>
<b>SIC</b>	Sistema de control de velocidad	<b>C1</b>	Lazo de control sobre fertirrigación
<b>SCx</b>	Control de velocidad	<b>C2</b>	Lazo de control sobre nivel de pH
<b>FCx</b>	Control de flujo	<b>C3</b>	Lazo de control de velocidad de actuadores
<b>FTx</b>	Transmisor de flujo	<b>C4</b>	Lazo de control sobre cosechado
<b>OT1</b>	Transmisor de pH	<b>B0</b>	Lazo de Adquisición de datos de procesos
<b>UT1</b>	Transmisor de Oxígeno disuelto		

Tabla 2.7 Elementos de fotobiorreactor tubular.

#### 2.1.2.8. Fotobiorreactores Thinlayers

Los fotobiorreactores Thinlayers son un tipo común de fotobiorreactor abierto, donde el movimiento del medio de cultivo se produce por gravedad debido a la inclinación (aprox. 1%) de las superficies por donde circula (Ver figura 2.15). Este sistema favorece el flujo turbulento, la transferencia de materia y disminuye la profundidad de cultivo lo que mejora la captación de luz por parte de las microalgas. En la tabla 2.9 están indicadas las características de los fotobiorreactores Thinlayer instalados en la planta. Este tipo de biorreactor necesita de una bomba centrífuga para recircular el cultivo desde el tanque de recogida en el punto más bajo del circuito, hasta el punto inicial del recorrido que se encuentra a una altura superior y donde es vertido mediante un difusor. El sistema utiliza una columna como tanque de expansión del medio de cultivo para asegurar una alimentación continua. La entrada de medio se controla mediante una electroválvula y un contador mecánico, mientras que la inyección de Aire y CO<sub>2</sub> son alternadas mediante una electroválvula comandada por el control de pH. El sistema dispone de sondas de pH y Oxígeno disuelto que envían la información al sistema de adquisición. El proceso de cosechado se realiza mediante una bomba sumergida en el tanque de recogida.

En la figura 2.15 queda representados los principales elementos que toman parte en el sistema y la relación con los sistemas de control implementados en la herramienta SCADA. Los identificadores y nomenclatura utilizada se encuentran explicados en la tabla 2.8.



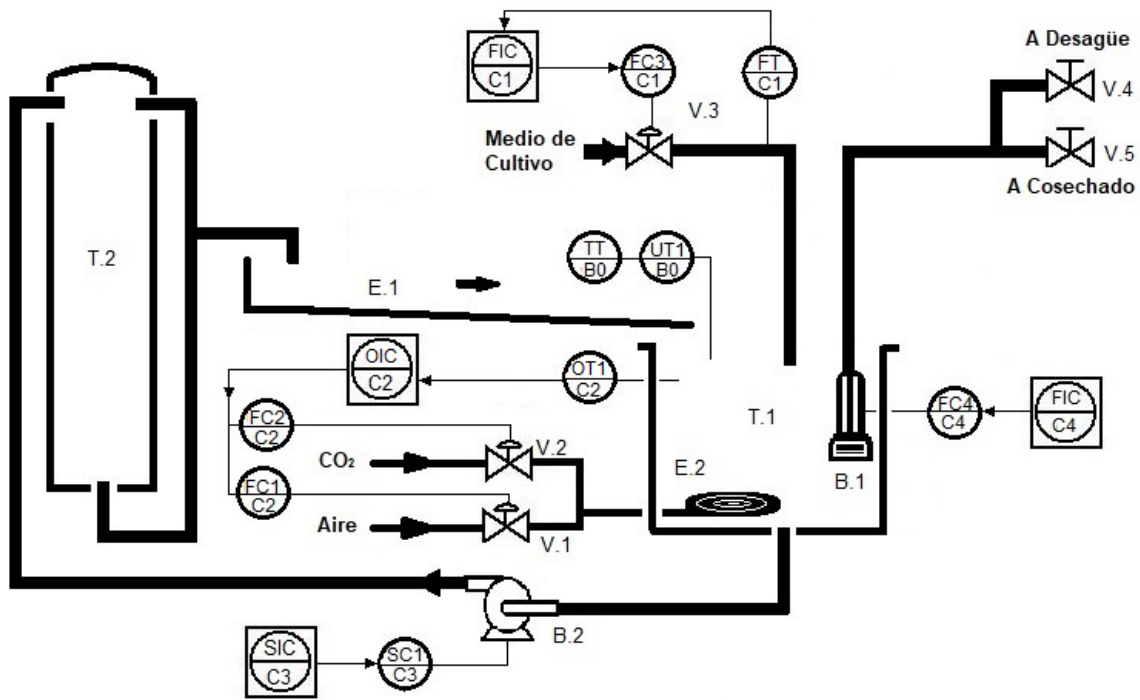


Figura 2.15 Diagrama de fotobiorreactor Thinlayer.

Válvulas			
V.1	Electroválvula Aire	V.4	Válvula a red de desagüe
V.2	Electroválvula CO <sub>2</sub>	V.5	Válvula a red de cosechado
V.3	Electroválvula de medio		
Bombas			
B.1	Bomba sumergida para cosechado	B.2	Bomba centrífuga para recirculado
Equipos			
E.1	Fotobiorreactor Thinlayer	E.2	Elemento de burbujeo
Tanques			
T.1	Tanque de recogida de medio	T.2	Tanque acumulador
Símbolos ISA			
FIC	Sistema de control de flujo	TTx	Transmisor de temperatura
OIC	Sistema de control de pH	C1	Lazo de control sobre fertirrigación
SIC	Sistema de control de velocidad	C2	Lazo de control sobre nivel de pH
SCx	Control de velocidad	C3	Lazo de control de velocidad de actuadores
FCx	Control de flujo	C4	Lazo de control sobre cosechado
FTx	Transmisor de flujo	B0	Lazo de Adquisición de datos de procesos
OT1	Transmisor de pH		
UT1	Transmisor de Oxígeno disuelto		

Tabla 2.8 Elementos de fotobiorreactor Thinlayer.

Elemento	Unid.	Longitud	Ancho	Prof. Lámina	Volumen Total	Altura Tanque	Superficie Tanque	Volumen Tanque
TL 45 m <sup>2</sup>	1	40 m	1.5 m	2 cm	1.2 m <sup>3</sup>	1.0 m	3.4 m <sup>2</sup>	1.8 m <sup>3</sup>
TL 90 m <sup>2</sup>	1	40 m	3 m	2 cm	2.7 m <sup>3</sup>	1.0 m	4.9 m <sup>2</sup>	3.6 m <sup>3</sup>
TL 700 m <sup>2</sup>	1	40 m	16 m	2 cm	21 m <sup>3</sup>	0.9 m	16 m <sup>2</sup>	11 m <sup>3</sup>

Tabla 2.9 Características de fotobiorreactores Thinlayer.[8]

#### 2.1.2.9. Depósitos de Cosechado

El cultivo cosechado en cualquiera de los fotobiorreactores es almacenado antes de su procesado. En la misma nave donde se encuentra el cabezal de riego se encuentra el depósito principal de cosechado con una capacidad de 3 m<sup>3</sup> y un tanque auxiliar de 1 m<sup>3</sup> (Ver figura 2.16) [8]. El depósito principal alimenta la centrifugadora, que procesa el cultivo cosechado hasta obtener biomasa seca, mediante una bomba centrífuga. Como sistema de seguridad en el tanque principal se encuentran instalados dos interruptores de flotador, el interruptor de nivel máximo indica al sistema SCADA que detenga los procesos de cosechado activos y el interruptor de nivel mínimo detiene directamente la bomba que alimenta la centrifugadora.



Figura 2.16 Depósitos de cosechado.

#### 2.1.2.10. Centrifugadora

Una vez obtenida la concentración deseada de biomasa y habiendo sido ya cosechada, el proceso para obtener biomasa seca consta principalmente de dos fases: i) Separar la biomasa del agua; ii) Secado de biomasa.

En la planta del proyecto SABANA se utiliza el método del centrifugado para obtener un espesamiento de la biomasa y separarla del agua. Este proceso no está automatizado, es necesario operar la centrifugadora (Ver figura 2.17) de forma manual, por lo que no se encuentra introducido en el sistema SCADA. En la tabla 2.10 se encuentran las principales características de la centrifugadora utilizada.

Modelo	Potencia	Capacidad	Presión centrífuga
GEA OSI 5	4 kW	5 m <sup>3</sup> /h	1 bar

Tabla 2.10 Características centrifugadora GEA OSI 5 [13].



Figura 2.17 Centrifugadora GEA OSI 5.

### 2.1.3 Modos de Funcionamiento

Cada uno de los sistemas de la planta son capaces de funcionar en los modos Automático o Manual. Puesto que cada uno de los fotobiorreactores funcionan de forma independiente es posible trabajar con uno o varios en modo manual mientras el resto continúa en modo automático.

A través del modo manual de un sistema el operario podrá operar cada uno de los actuadores desde los controles habilitados para ello. Un sistema en modo manual no podrá ser actuado por los procesos automáticos que sigan activos para el resto de la planta.

Un sistema en modo automático funcionará de forma autónoma según los parámetros configurados, sin intervención del operario. Además, se encontrarán deshabilitados los controles manuales de los actuadores para evitar contraórdenes. Los principales procesos llevados a cabo en modo automático son: i) Control de pH; ii) Recirculación o flujo forzado del medio; iii) Cosechado de medio; iv) Fertirrigación.

## 2.2. Descripción de elementos de medida

Para el control de los procesos llevados a cabo en la planta y la supervisión de parámetros, son necesarios un conjunto de sensores conectados a la red del sistema mediante las tarjetas de adquisición Labjack. A continuación, se describen los diferentes componentes del sistema de medida y sus principales características.

### 2.2.1. Caudalímetros

El caudalímetro es un instrumento utilizado para la medición de caudal o gasto volumétrico de fluidos. El elemento es colocado en línea sobre la tubería en la que transporta el fluido para realizar la medida que dependiendo de sus características constructivas se realizara por un movimiento mecánico o un efecto magnético del caudal sobre el elemento.

En la figura 2.18 pueden observarse los caudalímetros instalados en la planta de los tipos:

- Magnéticos.
- Mecánicos de molino.

Los caudalímetros mecánicos o contadores están formados por un eje con aspas transversales a la circulación del líquido que giran por el efecto del flujo del líquido, el eje está conectado a un contador que acumula las lecturas y a un generador de señales de pulsos para la lectura por parte del sistema de adquisición.

El funcionamiento de un caudalímetro magnético está basado en la fuerza de Lorenz, que experimentan las cargas al moverse dentro de un campo magnético. De esta fuerza se deriva que el voltaje inducido a través de un conductor (fluido) que se desplaza transversal a un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor [9]. Los caudalímetros magnéticos utilizados en la planta devuelven una señal analógica 4-20 mA.

En la planta se encuentran instalados 2 caudalímetros magnéticos en las líneas de bombeo de medio tras las bombas centrífugas y 1 caudalímetro mecánico a la entrada de medio en cada uno de los fotobiorreactores. Sus características se encuentran en la tabla 2.11.

Modelo	Tipo	Rango	Error	Señal Comunicación
JUMO flowTRANS MAG S01	Magnético	8-800 L/min Ø 32 mm	0.2 - 0.4 %	HART (4-20 mA) Profibus-PA
Hidroconta Contador Hidrojet	Mecánico	2-17 L/min Ø 32 mm	2.0 - 5.0 %	Pulsos

Tabla 2.11 Características técnicas de caudalímetros instalados [14][15].



a. Magnético JUMO flowTRANS MAG S01.



b. Contador mecánico Hidroconta Hidrojet.

Figura 2.18 Caudalímetros.

### 2.2.2. Interruptores de flotador

Como medida de seguridad tanto los tanques de nutrientes como los tanques de cosechado y ozonizado cuentan con interruptores de flotador para detectar los niveles máximos y mínimos (ver figura 2.19). En una configuración NA (Normalmente Abierta) al subir el nivel del fluido el flotador subirá hasta alcanzar una posición horizontal, que cerrará el circuito interno enviando la señal a la tarjeta de adquisición. Simplemente girando 180° el interruptor se podrá utilizar como NC (Normalmente Cerrado) cuando sea necesario.



Figura 2.19 Interruptor de flotador.

### 2.2.3. Sensores de CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono tiene una banda de absorción característica en la región infrarroja (IR) a una longitud de onda de 4.26 μm. Una sonda de CO<sub>2</sub> determina la cantidad de CO<sub>2</sub> contenida en un gas a partir de la radiación que es absorbida por este, su elemento sensor principal es un detector IR. [10]

Para determinar la eficiencia en la absorción de CO<sub>2</sub> durante su inyección en el medio de cultivo, la planta cuenta con un sensor (Ver figura 2.20) que mide la riqueza de este gas en los gases de combustión obtenidos en el sistema de generación y un segundo sensor instalado en un fotobiorreactor Raceway en un punto sobre el foso y ligeramente sobre la lámina de líquido, que permite obtener una medida del gas que no ha sido absorbido por el medio. En la tabla 2.12 se encuentran las principales características técnicas del modelo utilizado Vaisala GMT222.



Figura 2.20 Sensor CO<sub>2</sub> Vaisala GMT222.

Modelo	Rango CO <sub>2</sub>	Error	Respuesta (63%)	Señal de salida
Vaisala	0 - 2000 ppm	±1.5 % del rango	30 s	4 - 20 mA
GMT22	0 - 10000 ppm	±2.0 % de la medida		0 – 5 V

Tabla 2.12 Características técnicas del Sensor CO<sub>2</sub> Vaisala GMT222 [15].

### 2.2.4. Sensores de pH

Los sensores de pH miden la concentración de iones de hidrógeno en una solución a través de la diferencia de potencial entre dos electrodos, donde uno de ellos actúa como referencia al no variar su potencial y encontrarse calibrado a un patrón ya conocido. Cuanto mayor sea la concentración de iones menor es el pH [11]. Una solución básica o alcalina es aquella con un pH superior a 7 y una solución acida es aquella que se encuentra por debajo de 7.

El pH óptimo para un medio de cultivo de microalgas se encuentra entre 7-8 y producirá la muerte del cultivo si alcanza valores por debajo de 4. Debido a ser uno de los principales parámetros a controlar, en cada uno de los biorreactores se encuentra instalado un sensor de pH. Con un total de 10 dispositivos formados por un sensor y un transductor (ver figura 2.21) que permite su supervisión por parte del sistema SCADA, mediante una señal de salida analógica 4-20 mA conectada a las tarjetas de adquisición. En la tabla 2.13 se encuentran las principales características técnicas del modelo utilizado JUMO Aquis500.



Figura 2.21 Transductor JUMO Aquis500 para sonda de pH.

Modelo	Medida	Rango	Error	Señal de salida
JUMO Aquis500	pH	-1 a +15 pH	≤ 0.3 %	4 - 20 mA
	Temperatura	-50 a +250 °C	≤ 0.5 °C	0 – 10 V

Tabla 2.13 Características técnicas del sensor de pH Jumo Aquis500 [16].

### 2.2.5. Sensores de Oxígeno Disuelto

El sistema convencional de medición de Oxígeno disuelto consiste en un medidor y una sonda polarográfica tipo Clark. La sonda consta de un ánodo de plata (Ag) revestido con un alambre de platino (Pt), que funciona como cátodo. Esto es insertado en una cubierta protectora llena de una solución electrolítica de cloruro potásico (KCl). La cubierta tiene en su extremo una membrana de material permeable al gas que permite el paso del oxígeno presente en la solución, pero no el paso de la solución. Mediante la aplicación de un potencial de 790 mV, el oxígeno presente en la célula se reduce a iones de hidróxido (OH-) en el cátodo, y se deposita cloruro de plata (AgCl) en el ánodo. Esta reacción provoca un flujo de corriente con intensidad proporcional a la cantidad de oxígeno presente en la muestra. El medidor convierte la medición del flujo de corriente en la concentración correspondiente de oxígeno disuelto [17].

Los medidores utilizados (Ver figura 2.22) permiten obtener también la temperatura del medio donde se encuentra la sonda y han sido conectados a las tarjetas de adquisición mediante señales analógica 4-20 mA aunque el dispositivo permite diferentes sistemas de comunicación [18]. En la tabla 2.14 se encuentran las principales características técnicas del modelo utilizado JUMO dTrans O2.



Figura 2.22 Sonda y elemento de medida JUMO dTrans O2.

Modelo	Medida	Rango	Error	Señal de salida
JUMO dTrans O2	Oxígeno disuelto	0 - 50 mg/L	± 1 % del rango	4 - 20 mA
	Temperatura	-50 a +250 °C	≤ 0.5 °C	0 – 10 V

Tabla 2.14 Características técnicas del sensor de Oxígeno disuelto JUMO dTrans O2 [18].

### 2.2.6. Sensor de Radiación Global

El sensor de radiación global o piranómetro mide la densidad de flujo de radiación total en un campo de 180°. El rango de radiación electromagnética medido por un piranómetro ideal se encuentra entre 280 y 2.800 nm. El rango utilizado generalmente en los instrumentos de medida se encuentra entre los 300 y 1.100 nm, donde se encuentra el 90% de la energía [19]. Existen principalmente dos tecnologías para su construcción:

- Células de Silicio.
- Termopilas.

Los piranómetros de célula de silicio son más económicos, pero tiene mayor error principalmente en condiciones nubladas. Su funcionamiento está basado en el efecto fotoeléctrico, de igual forma que las células fotovoltaicas. La medida se obtiene del diferencial de tensión obtenido entre dos láminas de silicio que es directamente proporcional a la radiación recibida por la célula.

Los piranómetros de termopila (Ver figura 2.23) tienen una respuesta más lenta, pero constan de mayor precisión. Su funcionamiento está basado en la generación de energía eléctrica a partir de calor. La radiación recibida aumentara la temperatura de la termopila, compuesta por termopares que producirán un diferencial de tensión medible [20]. En la tabla 2.15 se encuentran las principales características técnicas de los dos modelos utilizados, el modelo Kipp & Zonen CM11 de la estación exterior y el modelo Apogge SP-110 instalado en el interior del invernadero de los fotobiorreactores Raceways y Thinlayers.



Figura 2.23 Piranómetro de termopila Kipp & Zonen CM11.

Modelo	Tipo	Espectro	Rango	Error	Sensibilidad
Apogee SP-110	Célula de Silicio	360 – 1120 nm	0 – 2000 W/m <sup>2</sup>	± 5 %	200 uV/W m <sup>-2</sup>
Kipp & Zonen CM11	Termopila	305 – 2800 nm	0 – 4000 W/m <sup>2</sup>	± 3 %	6 uV/W m <sup>-2</sup>

Tabla 2.15 Características técnicas de los piranómetros instalados [19][20].

### 2.2.7. Sensor de Radiación PAR

Los sensores de radiación PAR utilizan fotodiodos y filtros espectrales para ajustar su rango de trabajo entre los 400 y 700 nm que es el rango de radiación electromagnética utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis [21]. La radiación PAR es medida en  $\mu\text{moles}/\text{m}^2$  que indica el número de fotones que inciden sobre un metro cuadrado. La figura 2.24 presenta el modelo de sensor instalado en el interior del invernadero. En la tabla 2.16 se encuentran las principales características técnicas de los dos modelos utilizados, el modelo SKE-510 de la estación exterior y el modelo Apogee SQ110 instalado en el interior del invernadero de los fotobiorreactores Raceways y Thinlayers.



Figura 2.24 Sensor de radiación PAR Apogee SQ110.



Modelo	Tipo	Espectro	Rango	Error	Sensibilidad
Apogee SQ110	Fotodiodo	410 – 655 nm	0 – 4000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\pm 5 \%$	200 $\mu\text{V}/\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
SKYE SKE-510	Fotodiodo	400 – 700 nm	0 – 5000 $\text{W}/\text{m}^2$	Tip. $\leq 3 \%$ Max 5 %	10 $\mu\text{V}/\text{W m}^{-2}$

Tabla 2.16 Características técnicas de los sensores de radiación PAR instalados [21][22].

### 2.2.8. Sensor de Humedad Relativa

Los dispositivos utilizados en la planta para medir la humedad relativa son de tipo capacitivo y constan además de un sensor de temperatura para su propio calibrado interno. Son también llamados termohigrómetros, su funcionamiento se basa en medir el efecto de la humedad en la constante dieléctrica de un material polimérico higroscópico. Teniendo en cuenta la constante dieléctrica del agua y el efecto de la temperatura medida por una sonda tipo Pt100, ofrecen una señal en corriente o tensión de gran linealidad [23].

En caso de encontrarse en zonas exteriores los sensores son instalados en el interior de una carcasa de protección que permite su aireación, pero evita la radiación solar directa. En caso de utilizarse en zonas de alta humedad y escasa renovación de aire, como el interior de invernaderos, es necesario añadir un sistema de ventilación forzada. Este sistema suele constar de un ventilador instalado en el interior de la carcasa de protección [24]. En la tabla 2.17 se encuentran las principales características técnicas del modelo Delta OHM HD9008TRR utilizado (Ver figura 2.25). En la planta se encuentran instalados dos sensores de humedad relativa uno en la estación meteorológica exterior y otro en el interior del invernadero de los fotobiorreactores Raceways y Thinlayers.

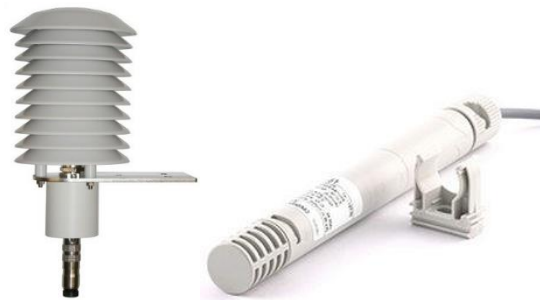


Figura 2.25 Carcasa de protección y sensor de humedad relativa.

Modelo	Medida	Rango	Error	Señal de salida
Delta OHM HD9008TRR	Humedad Relativa	0 – 100 %	$\pm 1.5 \%$	4 - 20 mA
	Temperatura	-40 a +80 °C	$\pm 0.5 \text{ °C} + \pm 0.1 \%$	

Tabla 2.17 Características técnicas del sensor de humedad relativa HD9008TRR [23].

### 2.2.9. Detector de Lluvia

En la figura 2.26 se observa un detector de lluvia capacitivo como el instalado en la planta. El valor de capacidad del elemento sensible variará según la acumulación de gotas de agua sobre él. Consta de un calentador integrado que mantendrá seco el sensor una vez finalizada la lluvia y evitará falsas señales

por efectos de niebla o condensación. Ofrece una señal analógica de 0-1 V con el objetivo de ser usado como interruptor de actuadores, el valor de esta señal no es representativo de la cantidad de lluvia caída [18]. En la tabla 2.17 se encuentran las principales características técnicas del modelo Delta HD2013.2 utilizado en la planta. El sensor se encuentra situado en la estación meteorológica exterior.



Figura 2.26 Detector de lluvia Delta HD2013.2.

Modelo	Alimentación	Potencia	Respuesta	Señal de salida
Delta HD2013.2.	12 Vdc	0.5 – 2.3 W	0.1 ms	0 – 1 v

Tabla 2.18 Características técnicas del Detector de lluvia Delta HD2013.2 [25].

### 2.2.10. Anemómetro

El anemómetro es un instrumento meteorológico utilizado para medir la velocidad horizontal del viento (Ver figura 2.27). Como parte de la estación meteorológica exterior, en la planta se encuentra instalado un anemómetro de tres cazoletas sobre las que actúa la fuerza del viento. El movimiento del eje es transmitido a un generador DC interno que produce un diferencial de tensión relacionado con la velocidad de giro que a su vez estará relacionada con la velocidad del viento. En la tabla 2.19 se encuentran las principales características técnicas del modelo Thies Clima 3400 utilizado en la planta.



Figura 2.27 Anemómetro Thies Clima 3400.

Modelo	Rango	Error	Señal de salida
Thies Clima 3400	0.5 – 35 m/s	± 0.5 m/s	0 – 1 mA DC

Tabla 2.19 Características técnicas del Anemómetro Thies Clima 3400 [26].

### 2.2.11. Veleta

La Veleta o transmisor de dirección del viento es un instrumento diseñado para captar la dirección horizontal del viento. La veleta posicionada por el viento mueve un potenciómetro interno, que se encuentra alimentado a una tensión constante, de forma que la tensión de salida del potenciómetro se encuentra directamente relacionada con la posición de la veleta. Durante la instalación debe tenerse en cuenta el punto de referencia del potenciómetro que generalmente se hace coincidir con el Norte y se encontrará marcado en la carcasa (Ver figura 2.28).



Figura 2.28 Veleta Thies Klima 3124.

Modelo	Rango	Resolución	Error	Potenciómetro
Thies Klima 3124	0 – 358 °	0.5 °	± 4 °	0 – 400 Ω

Tabla 2.20 Características técnicas de la Veleta Thies Klima 3124 [27].

## 2.3. Descripción de elementos actuadores

### 2.3.1. Electroválvulas

Para el control de entrada de medio en cada uno de los fotobiorreactores se encuentran instaladas electroválvulas de 2 vías y 2 posiciones para baja presión, pueden trabajar entre presiones de 0.5 a 1 Atmosfera. Su funcionamiento se basa en un solenoide que es activado por una tensión de 24V DC. Además, disponen de un sistema de apertura manual girando el cuerpo del solenoide 45°. El modelo utilizado es el 8301BPNC24AC del fabricante Euro-Rain (Ver figura 2.29) [28].

La planta consta también de electroválvulas de 3 vías y 2 posiciones por solenoide, para el control de paso de gases situadas en los cuadros eléctricos de cada uno de los fotobiorreactores. En estas electroválvulas el paso de CO<sub>2</sub> se encuentran configurado como N.C. (Normalmente Cerrado) y el paso de aire en N.A (Normalmente Abierto), de esta forma se produce la alternancia entre CO<sub>2</sub> y aire con un único elemento actuador. En la tabla 2.21 se encuentran las principales características técnicas de la electroválvula 2770-010400.02 de SAMSON para gases utilizado en la planta.



Figura 2.29 Electroválvula 2/2 8301BPNC24AC Euro-Rain.

Modelo	Alimentación	Potencia	Señal
SAMSON 2770-010400.02	24 Vac / Vdc	3 VA	0-10 V 4 – 20 mA

Tabla 2.21 Características técnicas electroválvula 2770-010400.02 de SAMSON [29].

### 2.3.2. Variadores de Frecuencia

En aquellos actuadores como motores y bombas donde se requiere controlar su régimen de funcionamiento son comandados por variadores de frecuencia. El principio de funcionamiento de estos dispositivos es el de que la velocidad síncrona de un motor de AC (Corriente Alterna) está determinada por la frecuencia de AC suministrada el número de polos en el estator. El proceso de variar la frecuencia de la señal consta en cambiar el ciclo de trabajo de una onda cuadrada periódica, de forma que el valor promedio de la tensión varíe entre sus valores máximo y mínimo. La frecuencia de la nueva señal obtenida estará relacionada con la velocidad de variación del ciclo de trabajo en la onda cuadrada. Internamente la señal cuadrada y la variación del ciclo de trabajo se consigue mediante el uso de fuentes de alimentación conmutada que son sistemas muy eficientes. Sin embargo, estas fuentes conmutadas inyectaran ruido en la red lo que podrá afectar a sensores y actuadores.



Figura 2.30 Variadores de frecuencia FVR-Micro.

Dentro de los cuadros eléctricos de cada sistema se encuentran instalados variadores de frecuencia del modelo FVR- Micro de Fuji Electric para el control de las bombas de caudal y recirculado de medio,

además de para los motores que mueven las ruedas de paletas. En la tabla 2.22 se encuentran las principales características técnicas de los variadores de referencia FVR0.75S2S-7E utilizados en la planta.

Modelo	Potencia	Alimentación	Salida
FUJI FVR-Micro FVR0.75S2S-7E	0.75 kW	Monofásica 220-240 V 50/60 Hz 9.3 A	Trifásica 220-240 V 1 - 400 Hz 4.2 A

Tabla 2.22 Características técnicas de los variadores FUJI FVR-Micro FVR0.75S2S-7E [30].

### 2.3.3. Bombas de medio

La planta consta de 2 bombas de medio de 0,6 y 0,76 kW para alimentar con 11 y 15 m<sup>3</sup>/h las líneas 1 y 2. Además de 6 bombas de 0,6 KW utilizadas para producir un flujo forzado del cultivo en los fotobiorreactores Tubulares y Thinlayers (Ver figura 2.31). Todas se encuentran conectadas en monofásico y controladas por variadores de frecuencia. Estas bombas son de tipo centrifugo radial donde el fluido entra por el centro de un rodete con alabes y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior. Los modelos instalados pertenecen al fabricante AstralPool y las referencias utilizadas son la 38771 (0,6 kW) y la 38773 (0,76 kW) de los modelos Victoria Plus [31].



Figura 2.31 Bomba para recirculado en Fotobiorreactor Tubular.

### 2.3.4 Bombas de Inyección

El sistema de fertirrigación consta de 8 bombas inyectoras (ver figura 2.32), cuatro para cada línea de medio. Son bombas rotativas monofásicas de 0.25 KW y un solo embolo, que permiten alcanzar una presión de 10 bar. El caudal máximo capaz de bombear es de 170 l/h, que puede ser ajustado de forma manual mediante un mando tarado entre 0-100% del caudal máximo. El modelo instalado es el PS1D048C del fabricante SEKO [32].



Figura 2.32 Bomba inyectora SEKO PS1D048C.

### 2.3.5 Bombas de Cosechado

La planta consta de bombas sumergidas en los fosos y depósitos de los fotobiorreactores para realizar el cosechado del cultivo. Este tipo de bombas proporcionan una fuerza de elevación alta al no depender de la presión de aire exterior para hacer ascender el líquido. Como sistema de seguridad para evitar su funcionamiento en vacío disponen de una boya que desconecta la bomba si el nivel de líquido es insuficiente (Ver figura 2.33). En la tabla 2.23 se encuentran las principales características técnicas del modelo utilizado Power Pumps POW 6782.



Figura 2.33 Bomba de cosechado en foso.

Modelo	Tipo	Potencia	Caudal max.	Altura max.
Power Pumps POW6782	Para aguas sucias	400 W	7500 L/h	5 m

Tabla 2.23 Características técnicas de las bombas sumergidas Power Pumps POW 6782 [32].

### 2.3.6. Ruedas de Palas

Para forzar el flujo del cultivo en los fotobiorreactores Raceways, la planta cuenta con 4 ruedas de palas, las cuales son movidas por un motorreductor AC monofásico. El conjunto motorreductor lo

forman el motor eléctrico y una caja de engranajes con índice de reducción 60 que permiten obtener la velocidad y un par motor adecuado. El motorreductor se encuentra protegido por una carcasa metálica (Ver fig. 2.34) con el objetivo de evitar el contacto accidental con las partes móviles y además cuenta con un interruptor de parada de emergencia. En la tabla 2.24 se encuentran las principales características técnicas del modelo utilizado TCM090060U-HTC del fabricante Transtecno [34].



Figura 2.34 Ruedas de palas.

Modelo	Alimentación	Potencia	Par	Reducción	N max
Transtecno TCM090060U-HTC	Monofásico	1.5 kW	230 Nm	60	47 rpm

Tabla 2.23 Características técnicas del motorreductor Transtecno TCM090060U-HTC [34].

## 2.4 Elementos de comunicación Labjack UE9

En cada una de las parcelas que constituyen la planta, existen una serie de cuadros eléctricos donde se encuentran conectados todos los elementos de medida o actuadores de cada uno de fotobiorreactores (Ver figura 2.35), estación meteorológica y cabezal de riego. En estos cuadros se encuentran instalados los dispositivos de protección eléctrica, transformadores, variadores de frecuencia y transductores para los diferentes sensores. Además, se encuentran los dispositivos Labjack UE9 que permitirán la comunicación de la planta con el sistema SCADA y relés de estado sólido necesarios para activar actuadores de gran potencia.

Los dispositivos Labjack UE9 son unidades remotas que permiten la comunicación entre los diferentes dispositivos instalados en la planta y el sistema de supervisión y control. Es un dispositivo de construcción robusta, diseñado para funcionar en un entorno industrial.

Estas unidades disponen de tres bloques diferenciados por sus funciones de comunicación:

- Puerto de comunicación
- Terminales I/O
- Conexiones D-sub

El modelo UE9 dispone de puertos de comunicación USB y ethernet. Es posible configurar la comunicación con cualquiera de ellos, pero no ambas la vez. Debe tenerse en cuenta durante las tareas

de mantenimiento que al hacer uso del puerto USB la comunicación ethernet se detiene. Para utilizar la conexión ethernet será necesario configurar los parámetros de red desde el software LjControlPanel. El módulo UE9 dispone de un panel de terminales atornillados donde hacer uso de 4 puertos digitales (Fio0-4), 4 puertos de entrada analógica (Ain0-4), dos salidas analógicas (DAC0-1). Los puertos SDA y SDL son para funciones del fabricante por lo que no debe hacerse uso de ellos (Ver figura 2.36).

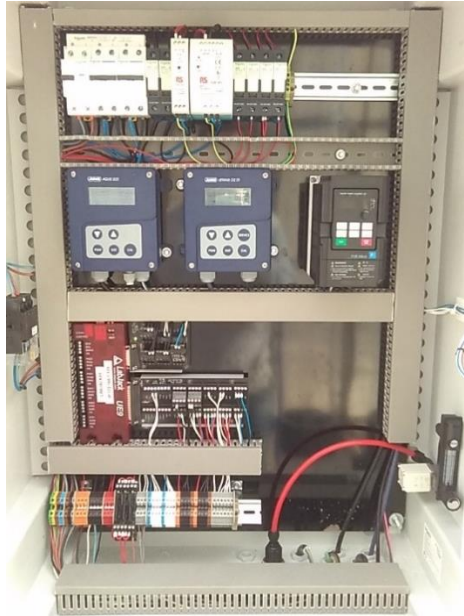


Figura 2.35 Cuadro eléctrico.

El dispositivo necesita una alimentación a 5 voltios de entre 200 y 500 mA en el terminal Vext. En caso de conectarse mediante USB, este puerto proporciona la alimentación necesaria. El rango tanto de entrada como salida de los puertos analógicos y digitales no excederán de los 5 voltios. Los terminales GND y Vs son comunes, los terminales Vs podrán alimentar a 5V un máximo de 200 mA en total. Como conexiones del tipo D-sub, el módulo UE9 dispone de los conectores DB-15 y DB-37 a través de los cuales es posible acceder a los 144 puertos I/O de su microprocesador.

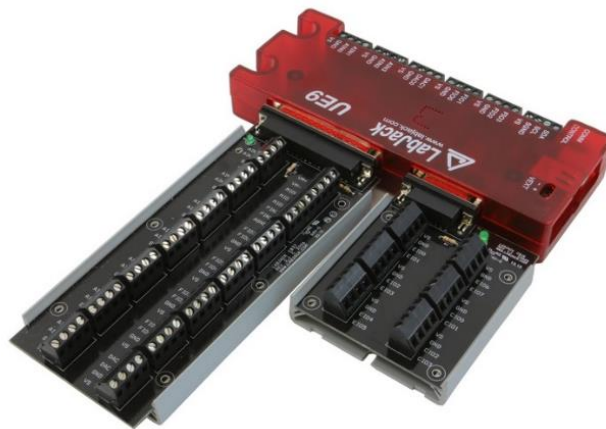


Figura 2.36 Labjack UE9 con tarjetas CB-15 y CB-37 conectadas.



Para expandir el número de puertos accesibles, es posible instalar las tarjetas CB-37 y CB-15 (Ver Apéndice A). Estas tarjetas permiten acceder a 16 puertos analógicos (Ain) y hasta 22 puertos digitales I/O nombrados como FIO, EIO, CIO, MIO dependiendo de sus funciones auxiliares. En la tabla 2.3 están representados el identificador de cada uno de puertos digitales, para su acceso desde el software SCADA. Existe también el dispositivo Mux80 de Labjack que permite, prescindiendo de las entradas analógicas, demultiplexar hasta 80 entradas digitales I/O en el conector DB-37.

Identificador	Puerto
0 - 7	Fio0 - Fio7
8 - 15	Eio0 - Eio7
16 - 19	Cio0 - Cio3
20 - 22	Mio0 - Mio3

Tabla 2.24 Identificación puertos digitales.

Es importante resaltar que los puertos Fio0-4, Ain0-4 y DAC0-1 son accesibles tanto desde los terminales I/O del módulo principal UE9 como desde la tarjeta CB-37 sin embargo, no deben ser utilizados ambos terminales de un mismo puerto a la vez.

Para funciones específicas que las características técnicas del módulo UE9 no puedan cubrir, se dispone de una serie de accesorios que dotan de una mayor flexibilidad al módulo. Estos dispositivos son fácilmente conectables en los terminales de 4 polos (Ver figura 2.34) y son los siguientes:

- LjTick Current Shunt: Permite convertir 2 señales 4-20 mA en señales de tensión 0.4-2.4 V con mayor precisión que con una resistencia de carga a la entrada del puerto analógico (Ain)
- LjTick Relay Driver: Permite activar relés que necesiten más de los 5 V que puede suministrar el módulo UE9, permiten hasta 50 V y un consumo máximo de 200 mA.
- LjTick DAC: A partir de 2 puertos digitales, permite obtener 2 salidas analógicas +-10 V de 14 bit (Ver figura 2.37). La configuración del valor de salida debe configurarse mediante una función embebida desde el software SCADA.

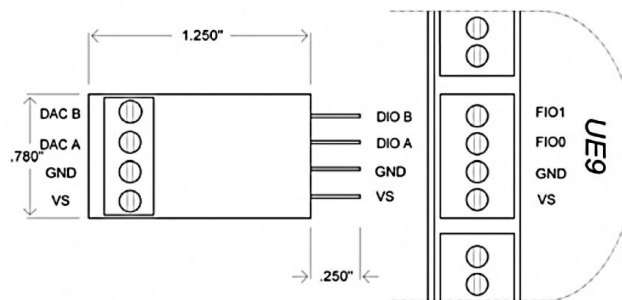


Figura 2.37 Conexión de LjTick-DAC

Los módulos Labjack disponen de una serie de funciones internas que pueden ser configuradas tanto desde el software LjControlPanel como a través de código embebido desde las secuencias de programas en el software SCADA. Algunas de ellas son las utilizadas para configurar las funciones auxiliares en los puertos Fio donde es posible configurar 2 contadores de 32 bits capaces de detectar flancos descendentes y 5 timers capaces de producir salidas PWM hasta 48 MHz [6].

## 2.5 Arquitectura hardware y software

La arquitectura diseñada consta de un sistema SCADA instalado en el PC principal, capaz de comunicarse con estaciones remotas a través de una red ethernet local. Las unidades remotas (RTU, Remote Terminal Unit) son las encargadas de recopilar datos de los elementos de campo y transmitirlos al sistema SCADA, a la vez que envían los comandos de control a los actuadores de la planta.

Las unidades RTU están basadas en ordenadores especiales que controlan el proceso mediante tarjetas convertidoras o capaces de controlar elementos de control (PLC, Variadores) mediante diferentes protocolos de comunicación [3].

En la planta de cultivo de microalgas han sido utilizadas unidades Labjack UE9 como estaciones remotas.

La red local ha sido desplegada mediante una topología de árbol, utilizando dispositivos switchs para alcanzar los diferentes cuadros eléctricos donde se encuentran instalados hasta 7 dispositivos Labjack. El PC principal donde se encuentra funcionando el sistema SCADA dispone de 2 tarjetas de red que le permiten estar conectado simultáneamente a la red local de la planta y a la red global de Internet (Ver figura 2.38). Esta configuración permite enviar los datos recogidos a un servidor remoto donde se conformará la base de datos accesible para análisis posteriores. Además, será posible el acceso remoto al sistema SCADA desde diferentes dispositivos por parte del personal autorizado.

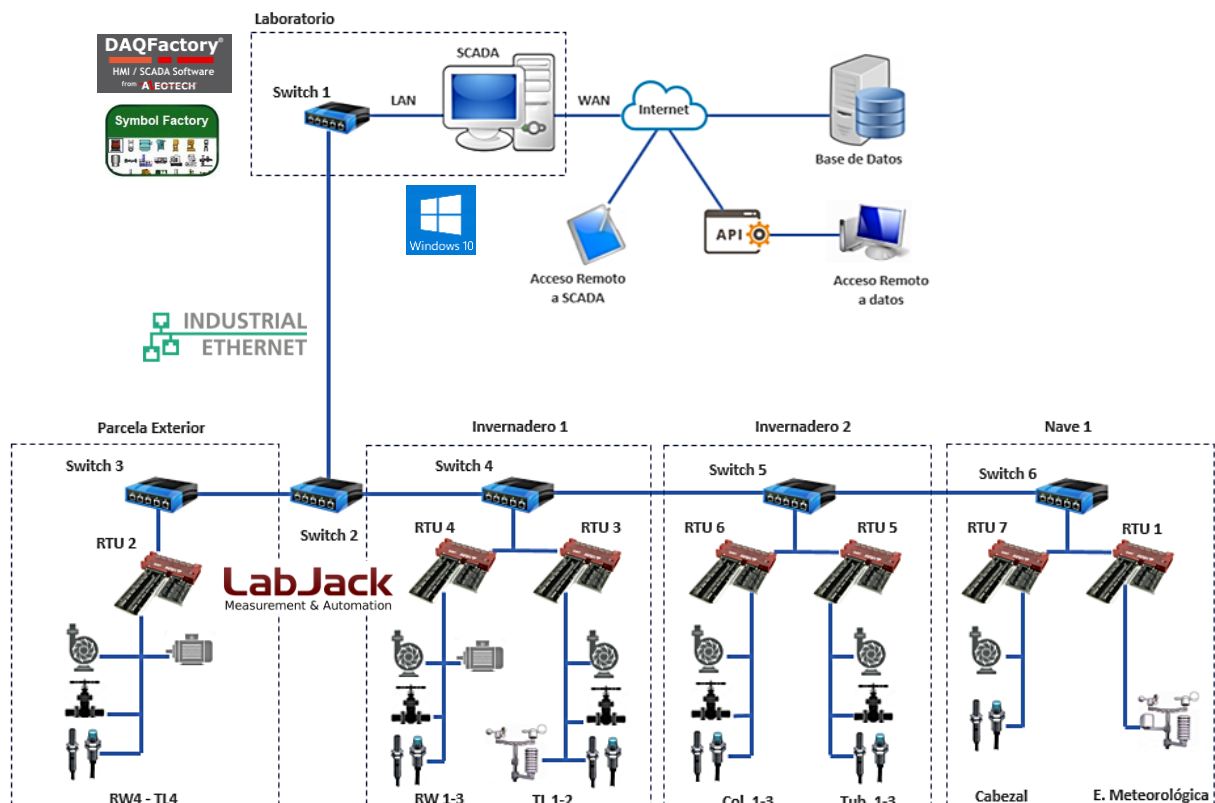


Figura 2.38 Arquitectura de red de comunicaciones.



### 3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

En este capítulo son desarrolladas las especificaciones técnicas y de diseño, que deben ser consideradas para que el diseño del sistema SCADA sea validado. Además, se detalla la normativa tenida en cuenta durante el proceso de desarrollo del interfaz hombre-máquina y sistema de adquisición de datos.

#### 3.1 Especificaciones Técnicas

El sistema desarrollado deberá cumplir las siguientes especificaciones y requisitos impuestos en la planta:

- El software utilizado para el diseño del sistema SCADA deberá ser DAQFactory de Azeotech [5], dado que el grupo de trabajo posee una licencia de software y el personal se encuentra ya familiarizado con su utilización.
- La herramienta debe permitir una completa funcionalidad sobre el sistema operativo Windows y en cualquier PC estándar donde sea necesaria su utilización.
- Se requiere un sistema robusto y sin excesiva exigencia de hardware que evite posibles caídas del sistema, lo que podría producir incluso la muerte del cultivo al no encontrarse la planta supervisada las 24h por un operario.
- El sistema debe de estar diseñado y configurado de forma que permita su acceso desde terminales remotos como móviles y tabletas de usuarios registrados, a través de herramientas web.
- Deberá añadirse la posibilidad de que el sistema de supervisión envíe avisos mediante e-mail ante la activación de alarmas, de forma que el operario pueda recibirlo en un dispositivo móvil.
- La herramienta debe permitir realizar los siguientes procesos de forma automática:
  1. Añadir un volumen concreto de medio determinado por el operario en cualquiera de los fotobiorreactores que componen la planta.
  2. A partir de la receta de nutrientes configurada por el operario el sistema debe controlar el volumen de nutrientes inyectado por el sistema de fertirrigación.
  3. Controlar el cosechado del cultivo, definiendo los fotobiorreactores a cosechar, su orden, horas de cosechado y medio a añadir, de forma que se mantengan constantes los niveles de medio en los fotobiorreactores durante el proceso.
  4. Realizar un control sobre el nivel de pH sobre cada uno de los fotobiorreactores a través de la inyección de CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta la radiación global medida.

#### 3.2 Especificaciones Sobre la Interfaz del Sistema SCADA

Para el diseño de la interfaz hombre-máquina ha sido necesario tener en cuenta tanto la normativa relacionada como las diferentes necesidades especificadas por los operarios y técnicos de la planta.

- Cumplimiento de normas europeas sobre trabajos con pantallas de visualización de datos, respetando los estándares de identificación y símbolos de instrumentación.
- El sistema representará el flujo de procesos y composición de los diferentes sistemas de forma que sea fácilmente reconocible los diferentes elementos en la planta real.

- Será implementado un sistema de control de acceso y privilegios para determinados usuarios, de forma que se eviten actuaciones o acceso a determinadas funciones por usuarios no especializados.
- Se creará una pantalla de gestión de alarmas donde se mantendrá un histórico y será necesario realizar la acción de supervisión por un usuario con privilegios para cancelar las alarmas.
- El sistema registrará en archivos separados los datos derivados de los sistemas de gestión de usuarios, gestión de alarmas y adquisición de datos del proceso industrial. El formato de los archivos obtenidos será CSV.
- El sistema realizara el control de variables como pH, Oxígeno disuelto y temperatura en los diferentes fotobiorreactores, teniendo en cuenta las características del tipo de cultivo que en cada uno de ellos y los parámetros atmosféricos.
- El sistema debe controlar el sistema de fertirrigación, actuando sobre caudales y aditivos necesarios en cada uno de los fotobiorreactores, teniendo en cuenta los procesos de cosechado para mantener los niveles de medio constantes.
- El sistema deberá controlar de forma automática el proceso de cosechado, el cual podrá ser programado para un rango de horas y tener en cuenta parámetros atmosféricos.

### 3.3 Normativa

El diseño de la interfaz del sistema de supervisión se ha realizado siguiendo las metodologías propuestas como normas y guías por diferentes organizaciones dedicadas a la estandarización de procesos.

#### 3.3.1 Norma UNE 500520:2002

Norma de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) que establece el procedimiento de actuación para la obtención de datos meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas que garantice la máxima calidad en la información recibida por el usuario y representatividad de los datos atmosféricos.

El apartado 4.3 de la norma UNE 500520:2002 [35] define los criterios que deben regir la instalación de diferentes sensores que forman parte de la estación meteorológica, algunas de las principales indicaciones son:

- Temperatura y Humedad: Los sensores deben situarse a una altura entre 1,25 y 2,00 m respecto a la superficie del suelo. Deben protegerse de la acción directa del sol mediante una garita y los termómetros deben estar alejados de fuentes artificiales de calor.
- Viento: Los sensores deben encontrarse instalados al menos a 10 m de altura, el anemómetro debe estar alejado de los obstáculos más próximos al menos 5 veces la altura de estos. En caso de estar montados en el brazo de un mástil, la longitud del brazo debe ser al menos 10 veces el grosor de este.
- Precipitación: El pluviómetro debe instalarse en terreno horizontal y a una distancia de cualquier obstáculo al menos 2 veces la altura de estos, siempre por encima del nivel máximo esperado de nieve y a una altura que no alcance el agua que pueda salpicar desde el suelo.
- Radiación solar: Deben instalarse a suficiente altura de forma que exista ningún obstáculo que pueda modificar la radiación del disco solar o de la bóveda celeste. El piranómetro debe instalarse

en un lugar accesible que permita la limpieza de la cúpula protectora. El sensor debe instalarse alejado de cualquier fuente de radiación artificial que pueda modificar la medida del instrumento. Referente a la caracterización y muestreo de datos, la norma propone un periodo de muestreo de 1 s para asegurar una adecuada representación de los cambios significativos, registrándose como mínimo el promedio de los datos obtenidos durante 10 min, expresando siempre la hora de adquisición en Tiempo Universal Coordinado (UTC).

### 3.3.2 Norma ISO 9241

La norma UNE-EN ISO 9241, en su sección 10, Principios de diálogo, trata el diseño ergonómico de programas para equipos con Pantallas de visualización de datos. Enumera una serie de ideas que se pretende sirvan de guía a la hora de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas, que desarrolla en los capítulos 14, 15, 16 y 17 de dicha norma:

- La aplicación debe estar adaptada a la tarea para la cual se ha diseñado; el diálogo con el usuario debe ser limpio, presentando y exigiendo solamente información estrictamente necesaria.
- La aplicación debe informar del progreso al interlocutor de forma comprensible para éste.
- La aplicación debe ser controlable por el usuario, no al revés.
- Las respuestas de la interfaz deben ser coherentes y adaptadas al nivel de capacitación del usuario.
- La aplicación debería ser tolerante a fallos y con herramientas de corrección automáticas.
- Debería ser clara y sencilla de utilizar.

Teniendo en cuenta las indicaciones anteriores, se cuenta con una serie de principios básicos de diseño se resumen a continuación:

- Diseño simple, orden lógico y bien etiquetado.
- No mostrar datos irrelevantes o innecesarios de forma automática.
- Las indicaciones cuantitativas, mejor de forma gráfica.
- Unidades estandarizadas.
- 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.
- Enmarcar los objetos relacionados para un mejor contraste.
- Notificar siempre los resultados de cualquier acción de forma clara.
- Utilizar los colores con mesura y de forma práctica, no artística.

[3]

### 3.3.3 Directiva 98/37/CE

Esta directiva determina una serie de medidas para tener en cuenta a la hora de realizar cualquier diseño de maquinaria. Las normas pretenden ofrecer unas especificaciones técnicas que permitan diseñar y fabricar productos conformes con la Directiva. Son de aplicación voluntaria, pero se da por asumido que las normas nacionales de los países miembros ya cubren los requisitos básicos definidos en dichas normas. La tarea de normalización en Europa corresponde a los dos organismos de normalización existentes: CEN (Comité Europeo de Normalización) y CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica).

En el Anexo I, Requisitos esenciales de seguridad y de salud relativos al diseño y fabricación de las máquinas y de los componentes de seguridad, se enumeran una serie de principios de diseño que se engloban bajo la idea siguiente: “Los sistemas de mando deben diseñarse y fabricarse para que resulten seguros y fiables, a fin de evitar cualquier situación peligrosa.”

- Serán claramente visibles e identificables.
- Estarán colocados de manera que se pueda maniobrar con seguridad, sin pérdida de tiempo.
- Se diseñarán de tal manera que el movimiento del órgano de accionamiento sea coherente con el efecto ordenado.
- Estarán situados de forma que su maniobra no acarree riesgos adicionales.

[3]

#### 3.3.4 Norma ISO 11064

El estándar ISO 11064 establece unos principios, recomendaciones y requerimientos para ser aplicados en el diseño de centros de control. Este estándar propone aspectos de propósito general y en el caso particular de aplicación en sala de control industrial, la ergonomía aparece prioritariamente en forma de ergonomía física [36].

#### 3.3.5 Norma ISA 101

Un reflejo del esfuerzo que se realiza por estandarizar los procedimientos de diseño es el ISA 101 (*Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*). Con este estándar, se pretende proporcionar una dirección en el diseño, implementación y mantenimiento de las interfaces HMI. Su uso debería:

- Proveer una guía para diseñar, construir, operar y mantener interfaces HMI que resulten más seguras, más efectivas y más eficaces en el control de procesos, tanto en situaciones normales como anormales.
- Mejorar las habilidades del usuario para detectar, diagnosticar y responder ante situaciones anormales.

Sus objetivos principales son disminuir la tasa de errores de los operadores, reducir los tiempos de aprendizaje y reducir costes de rediseño al estandarizar los procedimientos. Las prácticas de este estándar son aplicables a cualquier tipo de proceso que use una interfaz HMI para interactuar con un sistema controlado [37].

#### 3.3.6 Real Decreto RD 488/1997

El Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. En el artículo 2, se definen los términos “Pantalla de visualización”, “Puesto de trabajo” y “Trabajador”. Se describen en artículos posteriores las obligaciones del empresario en materia general, en materia de vigilancia de la salud y en materia de información y formación. El Real Decreto, encomienda de manera específica la

elaboración y el mantenimiento actualizado de una Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos que incluyan pantallas de visualización. Esta, proporciona criterios y recomendaciones que pueden facilitar a los empresarios y a los responsables de prevención la interpretación y aplicación del citado Real Decreto, especialmente en lo que se refiere a la evaluación de los riesgos para la salud de los trabajadores involucrados y en lo concerniente a las medidas preventivas aplicables [3].

### 3.3.7 Norma ISA S5

El propósito de esta norma es establecer un medio uniforme de designación de los instrumentos y los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, el sistema de designación incluye los símbolos y presenta un código de identificación [36].

### 3.3.8 Guía GEDIS

La guía GEDIS propone una guía ergonómica enfocada al diseño de interfaces de supervisión. Esta ha sido creada como una recopilación de distintas metodologías comunes especificadas en las diversas normativas que tratan el tema del diseño de interfaces hombre-maquina. El método propuesto está basado en diferentes niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y sus contenidos, esta guía ha llegado a convertirse en un complemento indispensable para el desarrollo de los sistemas comerciales de supervisión, control y adquisición de datos SCADA.

La guía GEDIS define 10 indicadores, cubriendo todos los aspectos del diseño de una interfaz: estructura, distribución, navegación, color, texto, estado de los dispositivos, valores de proceso, gráficos y tablas.

La guía se estructura en 2 partes, la primera detalla las indicaciones para el diseño de interfaces hombre-máquina y la segunda parte propone un sistema de evaluación cuantitativa de los diferentes elementos de la interfaz, permitiendo una valoración numérica final y la posibilidad de comparación con otras interfaces [36] [38].





## 4. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

Este capítulo se encuentra dividido en dos apartados. El primer apartado trata el diseño de la interfaz, definiendo la arquitectura de pantallas y las características de los elementos como menús, iconos y etiquetas utilizadas en el sistema SCADA del proyecto SABANA. Este apartado aportará al usuario los conocimientos necesarios para navegar entre las diferentes áreas y opciones de la interfaz del sistema.

En el segundo apartado serán tratadas las principales herramientas software utilizadas, además de sus funciones y características principales. Este apartado aportará conocimientos técnicos sobre el uso del software utilizado, que permitirá a un usuario trabajar con él y modificar en caso de ser necesario la herramienta SCADA.

### 4.1 Diseño de la interfaz

Para el diseño de la interfaz gráfica se han seguido inicialmente las metodologías propuestas por la guía GEDIS, la cual está enfocada a interfaces hombre-maquina en ambientes industriales. Además, permite realizar una valoración cuantitativa del resultado por parte del personal en contacto con el sistema, lo que permitirá una fácil detección de puntos a mejorar.

#### 4.2.1 Arquitectura de pantallas

Definir las diferentes áreas y subáreas del sistema permitirá analizar la relación existente entre ellas y ayudará a realizar un diseño de las pantallas que permitan una navegación sencilla para el operador. Algunas de las principales indicaciones aportadas por la guía GEDIS son:

- La arquitectura de pantallas debe reflejar la organización de la planta.
- El número de capas de la jerarquía no debe exceder de cuatro niveles.
- Se recomienda definir mapas de arquitecturas anchas y poco profundas que permitan un acceso rápido a la información requerida.

El sistema analizado presenta una arquitectura jerárquica donde se pueden diferenciar los niveles de área, subárea y equipos (Ver figura 4.1).

Las principales indicaciones de la guía GEDIS tenidos en cuenta durante el diseño de pantallas han sido:

- La información más importante debe de encontrarse en las zonas central y superior izquierda de mayor visibilidad y en la parte inferior la información o elementos secundarios.
- Los elementos e información crítica deben mantenerse en lugares fijos de la pantalla.
- La información debe estar distribuida de forma regular en toda la pantalla y la densidad de gráficos no debe superar el 50% del área total.

Todas las pantallas han sido diseñadas siguiendo una plantilla general (Ver figura 4.2), donde los elementos comunes siempre mantendrán la misma posición. Para cada tipo de pantalla de proceso (Ver figura 4.3) podremos encontrar elementos específicos que definirán plantillas diferentes, pero siempre basadas en la plantilla patrón. A nivel de equipo será posible acceder a pantallas emergentes (Ver figura 4.4), estas permitirán modificar parámetros o controlar actuadores sin perder de vista la pantalla principal.

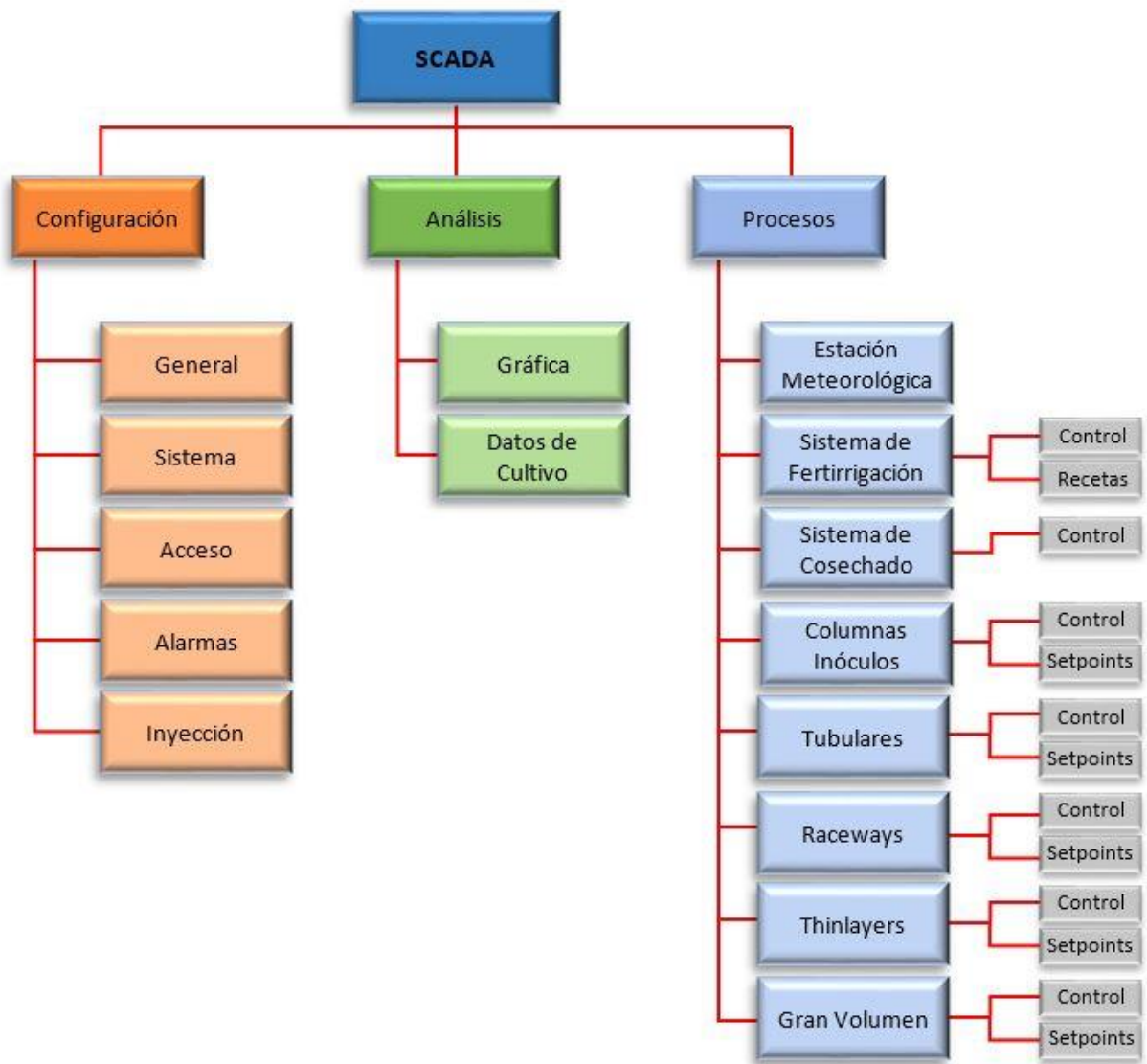


Figura 4.1 Arquitectura del sistema.

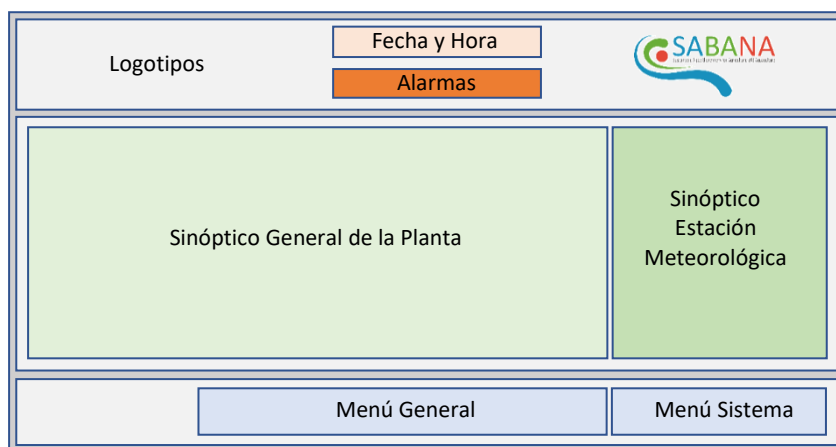


Figura 4.2 Plantilla Patrón.

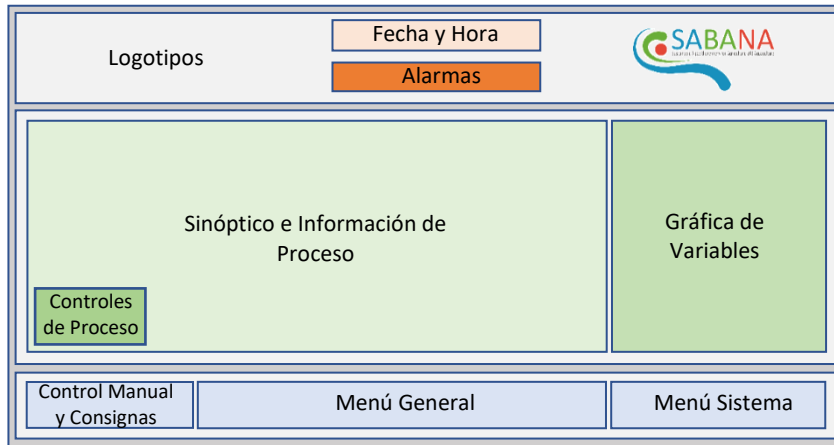


Figura 4.3 Plantilla de procesos.

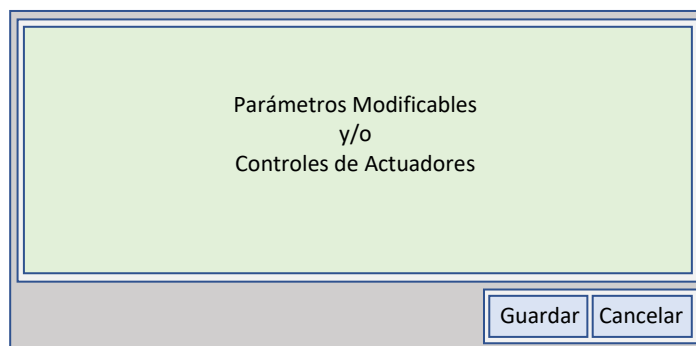


Figura 4.4 Plantilla de pantalla emergente.

Algunas de las directrices que se deben tener presentes a la hora de establecer la forma de navegación son las siguientes:

- Cuando la sala de control cuenta con pocos dispositivos de visualización, se debe proporcionar una navegación horizontal de manera que el operador pueda cambiar de área con mayor velocidad.
- La navegación no debe ser un obstáculo para el operador en situaciones de emergencia.
- El área de contacto para pulsar debe ser lo suficientemente grande para que sea fácil de usar.
- Si se usa una pantalla táctil, se deben hacer las consideraciones antropométricas de los dedos índices de los operadores.
- Si se utilizan iconos, se recomienda usar una ayuda textual.
- Se recomienda usar zonas predefinidas de la pantalla para ubicar los menús, barras de botones, botones de cierre, etc.

De usarse menús, estos deben ser agrupados en base a la similitud funcional de sus elementos. El orden en que se muestran las opciones de los menús debe basarse en la importancia de la función o la frecuencia de uso.

En la zona inferior de la pantalla se encuentra el menú general y el menú de sistema, estos se mantendrán siempre visibles independientemente de la pantalla en que se encuentre el usuario. El menú de sistema permite el uso de y acceso a funciones especiales como queda reflejado en la tabla 4.1. El menú general (Ver figura 4.5) permite acceder directamente a cualquier pantalla de supervisión o de funciones principales, desde cualquier punto en el que se encuentre el usuario. Esto facilita enormemente la supervisión y permite un uso intuitivo a usuarios poco especializados.

Icono	Función
	Acceso a configuración de envío de avisos por E-mails. Es necesario ser usuario registrado y con permisos para su acceso.
	Acceso opciones de configuración generales del sistema. Es necesario ser usuario registrado y con permisos para su acceso.
	Acceso a pantalla de gestión de usuarios. Es necesario ser usuario registrado y con permisos para su acceso.
	Permite introducir identificación y clave de usuario registrado para obtener acceso a áreas restringidas.
	Vuelve a pantalla de sinóptico general desde cualquier punto.

Tabla 4.1 Opciones accesibles desde menú de sistema

Desde la pantalla inicial, haciendo clic sobre los diferentes elementos del sinóptico será posible también acceder a cada una de las áreas representadas. Serán accesibles de este modo los sistemas de fotobiorreactores, el cabezal de riego y la estación meteorológica.



Figura 4.5 Opciones del menú general

Dentro de las pantallas dedicadas a la supervisión de un sistema determinado, será posible acceder a opciones de configuración o controles manuales específicos (Ver figura 4.6). Los accesos a opciones específicas aparecerán en la parte inferior izquierda de la pantalla y abrirán como pantalla emergente la opción seleccionada. La pantalla emergente permitirá acceder a parámetros especiales sin perder de vista la pantalla principal, pero será necesario cerrar la pantalla emergente para volver a navegar por el sistema. Dependiendo de las funciones mostradas en una pantalla emergente, está ofrecerá las opciones de Guardar y/o Cancelar (Ver figura 4.7). La función cancelar cerrara la pantalla emergente eliminando los cambios que no hayan sido guardados previamente.



Figura 4.6 Acceso a parámetros específicos



Figura 4.7 Opciones de pantallas emergentes

### 4.2.2 Color y Texto

Una de las características más importantes para tener en cuenta durante el diseño de un interfaz hombre-maquina es el uso del color en los diferentes elementos que componen el interfaz. Siguiendo las recomendaciones de diferente estándar la guía GEDIS aporta las siguientes directrices relacionadas con los colores y los elementos gráficos:

- Limitar el número de colores utilizados en una pantalla, son adecuados cuatro para operadores principiantes y un máximo de siete colores para personal experimentado.
- Cuando se utilizan combinaciones de colores, deben maximizarse el contraste entre ellos.
- Deben utilizarse otros elementos para reforzar la distinción de colores, como texto y tamaño o forma de los elementos.
- Evitar en lo posible el uso de intermitencia de colores. En casos especiales en los que se use una intermitencia, debe de proporcionarse un medio al operador para detenerla.

En el momento de seleccionar los colores del fondo de pantalla, se recomienda seguir las siguientes directrices:

- Uso de colores neutros para el fondo de pantalla (gris, arena, azul).
- Evitar el uso de los colores blanco y negro, ya que producen excesivo resplandor.
- Los colores de fondo deben permitir un buen contraste con el resto de los elementos.
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas amplias de la pantalla.

Para el diseño del sistema se ha tratado de utilizar la mínima variedad de colores en un fondo neutro, lo que permite una fácil supervisión y un entorno cómodo para la vista. La paleta de colores utilizados en el sistema queda resumida en la tabla 4.2.

Es importante regular el uso del texto dentro del interfaz, de forma que permita una fácil asimilación de la información textual por parte del operador. Las principales recomendaciones que deben ser seguidas durante el diseño son las siguientes:

- No se deben utilizar más de tres fuentes en la interfaz, ni más de tres tamaños de la misma fuente.
- Preferiblemente, utilizar fuentes *sans serif*.
- El tamaño de la fuente debe ser tal que se pueda leer a distancia por el operador.
- Procurar no utilizar únicamente letras mayúsculas, el texto debe contener minúsculas.
- El texto debe alinearse agrupando etiquetas a la izquierda y los números a la derecha.
- Debe evitarse en lo posible el aglutinamiento de texto tanto en horizontal como en vertical.

El sistema diseñado utiliza una fuente Arial del tipo sans serif y han sido utilizados los tamaños 16 para etiquetas y datos, 20 para títulos y 26 para la fecha. Mayoritariamente todo el texto aparece en color negro a excepción de los ejes de coordenadas en las gráficas de datos para facilitar su comprensión.

### 4.2.3 Estado de los equipos y eventos de proceso

Las características de los símbolos e iconos utilizados durante el diseño de un interfaz también deben estar regidos por los diferentes estándares comentados anteriormente. Algunas de las directrices comentadas en la guía GEDIS para el uso de símbolos son:

- Los símbolos deben ser simples, cerrados y de un tamaño suficientemente visible. Debe de evitarse detalles y realismos innecesario.
- Preferiblemente, deben encontrarse enmarcados y delimitados por un borde oscuro.

- Los símbolos e iconos no deben de ser ambiguos.

Es posible distinguir tres tipos de símbolos utilizados en el sistema diseñado, a) Botones de navegación; b) Mandos de Control; c) Iconos de Sinóptico




















Fondos de Pantalla	
Fondo de pantalla	
Paneles de fondo	
Alarmas	
Alarmas críticas	
Indicador alarma	
Fotobiorreactores	
Marcha	
Paro	
Conductos Aire / CO <sub>2</sub>	 
Tuberías de medio	
Cabezal de Riego	
Nivel Nutrientes	
Agua Limpia / Residual	 
Indicadores	
Elemento activo	
Elemento Inactivo	
Proceso Automático Activo	
Proceso Automático Inactivo	
Interruptores	
Activo	
Desactivo	
Texto	
Títulos, Etiquetas y Datos	

Tabla 4.2 Paleta de colores.

Como partes principales de la planta se encuentran representados en los sinópticos los elementos fotobiorreactores. Estos gráficos han sido diseñados especialmente para este sistema SCADA, tomando una imagen [40] como referencia. En el caso de las columnas y tubulares se han construido con elementos del software SymbolFactory [44] (Ver figura 4.8).

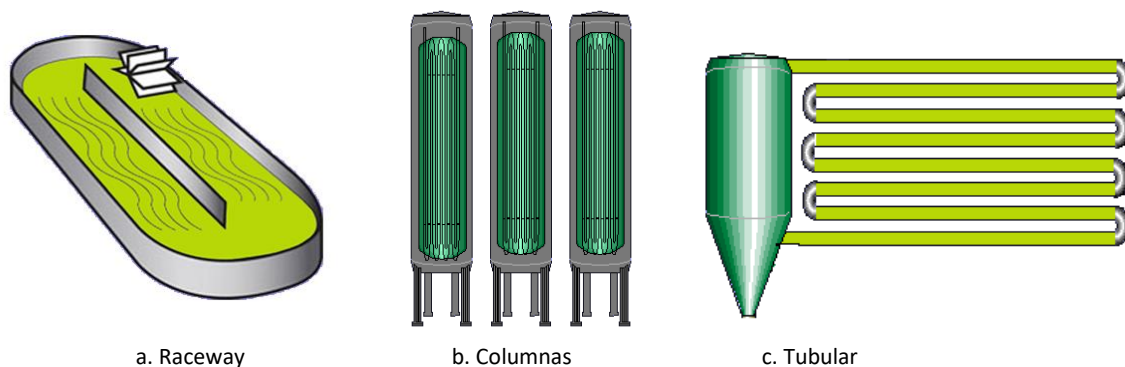


Figura 4.8 Diseños básicos de fotobiorreactores.

Utilizando las librerías gráficas de SymbolFactory, han sido añadidos los componentes como tubos, bombas y electroválvulas hasta completar un sinóptico fiel a las instalaciones de la planta (Ver figura 4.9). Con el objetivo de facilitar la supervisión, los iconos de elementos dinámicos han sido reforzados con leds que indicaran la actividad del dispositivo. En la tabla 4.3 se han representado los principales iconos utilizados para representar los elementos que forman parte de los distintos sistemas.

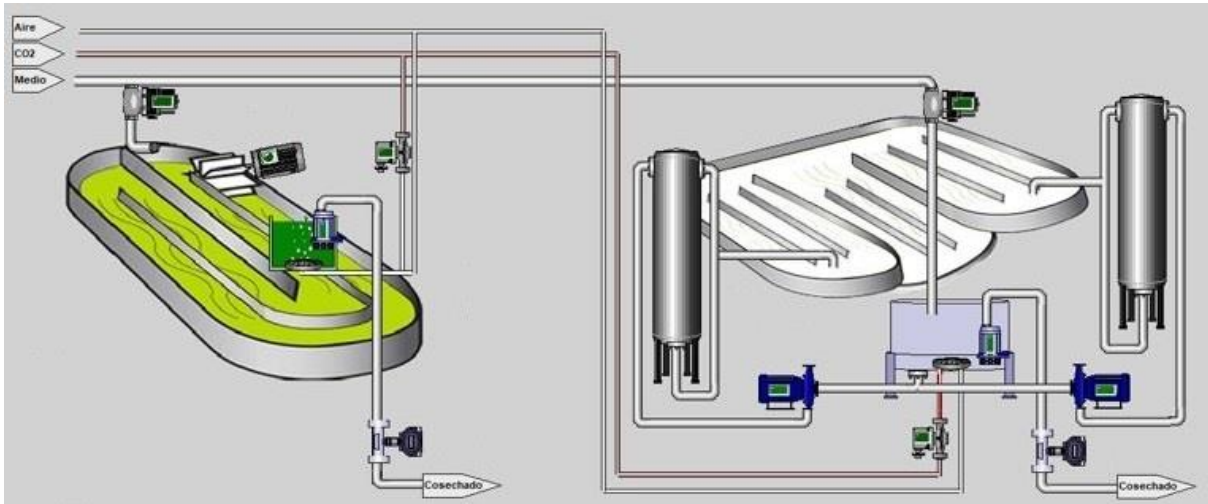


Figura 4.9 Sinóptico de fotobiorreactores de Gran volumen.

Icono	Elemento	Icono	Elemento
	Bomba centrífuga		Motor Eléctrico
	Bomba Inyectora		Electroválvula de medio 2/2
	Depósito de Nutrientes		Bomba sumergida
	Interruptor de flotador		Caudalímetro
	Foso de fotobior. Raceways		Electroválvulas 2/2 gases
	Burbujeador		Electroválvula 3/2 gases

Tabla 4.3 Iconos de componentes principales.



**Graficas de tendencias**

Las gráficas es un modo de representación, generalmente de datos numéricos, que será de gran ayuda. La representación gráfica del histórico de datos permite comparar situaciones de un proceso en distintos puntos del tiempo, así como su tendencia, lo que permite el operario anticipar situaciones y realizar conjeturas sobre la evolución del proceso. Su representación estará regida por los mismos estándares de diseño de elementos gráficos, con el objetivo de que la información contenida sea útil y de fácil identificación. Algunas indicaciones puntuales son:

- Debe limitarse el número de variables de sistema representadas, la cantidad de líneas representadas es inversamente proporcional a su utilidad.
- Utilizar colores con el suficiente contraste entre ellos para facilitar la diferenciación entre variables.
- Utilizar etiquetas textuales para identificar los valores representados en los ejes.

En el sistema diseñado, han sido incluidas graficas de tendencias para la supervisión de las principales variables de sistema de cada fotobiorreactor, una gráfica para la supervisión de las variables meteorológicas, una gráfica para la supervisión de los caudales de medio y una gráfica principal con la finalidad de poder representar y comparar entre ellas cualquiera de las variables del sistema independientemente del proceso al que pertenezcan. Para facilitar el análisis, cada gráfica consta de un menú que permite cambiar los parámetros de representación como el tiempo representado o los valores máximos y mínimos representados de cada magnitud representada (Ver figura 4.10).

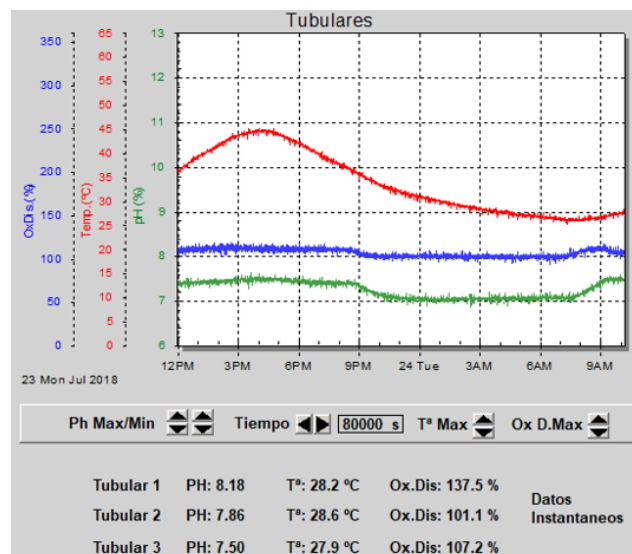
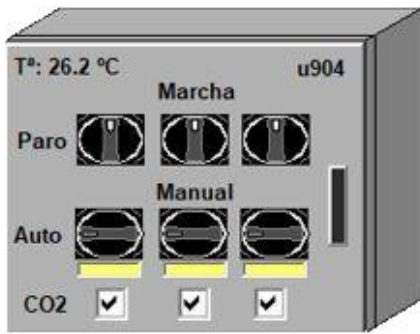


Figura 4.10 Gráfica de variables de fotobiorreactor.

**Controles y entrada de datos**

Las características que deben tener los comandos son su visibilidad y su facilidad de operación. Para cumplir con estos dos requisitos es imprescindible que su área de acción en pantalla sea de buen tamaño, perfectamente etiquetada y reconocible por el usuario. Por último, una característica clave de los comandos e ingreso de datos es la retroalimentación, lo cual implica que el usuario debe recibir una respuesta del sistema inmediatamente después de haber efectuado una acción. Para el ingreso de datos, se debe de confirmar al operador que su dato ha sido aceptado por la interfaz.

Todos los procesos están controlados por una serie de controles principales identificados como un cuadro de mandos. Los controles son del tipo selector, la opción automática activa es reforzada por un indicador de aviso de color amarillo (Ver figura 4.11.a). En el caso del proceso de fertirrigación y cosechado el cuadro de control añade la posibilidad de iniciar y parar el sistema de forma manual con interruptores identificados en verde para activar y rojo para detener (Ver figura 4.11.b). El estado del proceso es indicado además de forma textual.



a. Cuadro de control principal



b. Interruptores de proceso

Figura 4.11 Controles principales.

Durante el control manual de los diferentes elementos de componen la planta se utilizarán interruptores de tipo deslizante (Ver figura 4.12). La posición será indicada tanto por color como de forma textual y han sido configurados con un tamaño suficiente para facilitar el control desde sistemas de acceso remoto.

En el caso del control de señales analógicas han sido implementados selectores deslizantes (Slider) que permiten variar fácilmente la tensión de salida (Ver figura 4.13). La selección se realiza sobre la tensión de salida 0-5 V, haciendo clic sobre la etiqueta con fondo blanco es posible introducir el valor exacto de forma manual.

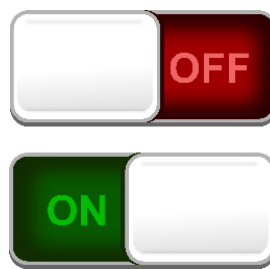


Figura 4.12 Interruptor de controles manuales.

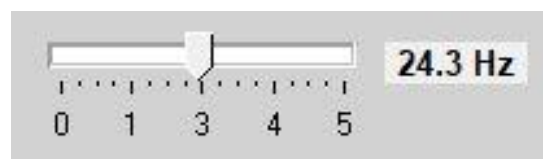


Figura 4.13 Selector tipo slider.

En diferentes lugares será necesario introducir el valor de determinados parámetros y estos admitirán por regla general al menos un decimal. Dependiendo de la función será utilizado un sistema u otro para introducir estos valores. Todos las etiquetas o apartados con fondo en blanco podrán ser introducidas de forma manual haciendo clic sobre la etiqueta. Existen tres modos de introducir parámetros:

- Selección desde ventana desplegable. Utilizada para seleccionar entre varias opciones fijas.
- Introducción directa haciendo clic sobre la etiqueta con fondo blanco e introduciendo el valor deseado. Es utilizado cuando el dato introducido no necesita ser tratado.
- Introducción de valor en apartado con fondo blanco y pulsando opción **Guardar** u **OK**. Es utilizado cuando el dato introducido necesita ser tratado como en el caso de necesitar guardar valores con decimales en la memoria no volátil de Windows. Principalmente durante la introducción de consignas (setpoints) y configuración de valores máximos y mínimos de alarmas.

#### 4.2.4 Alarmas

Las alarmas son uno de los elementos más importantes y representativos de los sistemas SCADA, ya que son una ayuda a la supervisión del sistema al alertar al operador sobre situaciones anómalas o eventos que requieren una intervención expresa del operario. Se pueden diferenciar dos tipos de alarmas por su prioridad:

- **Alarmas críticas:** Pueden amenazar la seguridad de algún elemento de la planta e incluso producir la detención del proceso de producción.
- **Advertencias o Avisos:** Indica situaciones no críticas que requieren una intervención del operario, pero que pueden ser potencialmente críticas si no son resueltas en un determinado tiempo.

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

- Los mensajes y alarmas deben ser congruentes con los estándares de color, fuentes, texto, etc.
- Se deben evitar un exceso de alarmas y avisos al operador.
- Para constatar el reconocimiento de la situación, el operario debe validar las alarmas críticas.
- El código de colores de las alarmas debe complementarse con los elementos como su visibilidad, posición o sonido.
- La ventana o zona de alarmas debe ser accesible y visible en todo momento por parte del operador.
- La información aportada por la alarma debe permitir identificar el equipo concreto, el parámetro anómalo y la hora y fecha del evento.
- En caso de utilizar sonido, debe proporcionarse la opción para silenciar la alarma una vez reconocida.
- Las alarmas deben tener un componente textual en la ventana de alarmas y un indicador gráfico en el sinóptico del proceso afectado.
- No se recomienda el uso de intermitencia para mostrar las alarmas salvo en casos excepcionales.

DAQFactory dispone de un área de gestión de alarmas que facilita el proceso de supervisión, la pantalla consta de un listado con todas las alarmas configuradas. Las alarmas activas serán colocadas en la parte superior de la tabla en orden de prioridad y serán iluminadas en rojo hasta que sean supervisadas por un operario.

Han sido implementado dos indicadores de alarmas en las pantallas de supervisión del sistema. El primero consta de un indicador con el número de alarmas activas y el número de alarmas no activas

pero pendientes de ser supervisadas por un operario. El indicador se encuentra en la parte superior central de la pantalla y es visible desde cualquier pantalla del sistema. Además, es reforzado con un contorno en color rojo (Ver figura 4.14) y la activación de un aviso sonoro.

El segundo indicador activa una señal de alarma (Ver figura 4.15) sobre el área afectada de la pantalla principal y sobre el elemento afectado en la pantalla donde se encuentre este.



Figura 4.14 Indicador principal de alarma activa.

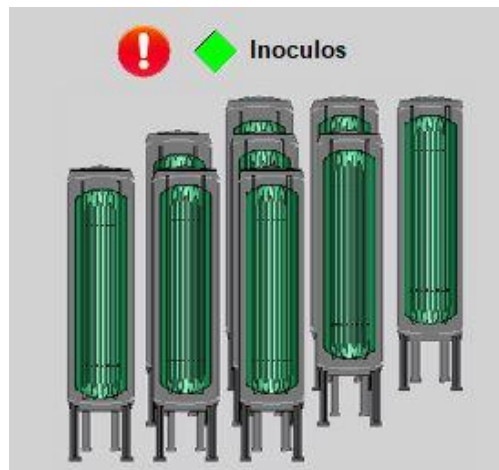


Figura 4.15 Icono alarma sobre sistema afectado.

## 4.2 Herramientas de desarrollo

### 4.2.1 DAQFactory

*DAQFactory* [5] es un software HMI SCADA de la compañía Azeotech que permite conectar los ordenadores de la planta con los dispositivos de campo (PLCs, RTUs, DAQ distribuidos, etc.). Es un software SCADA sencillo que ofrece la suficiente potencia y flexibilidad para facilitar el trabajo de supervisión, implementar sistemas de control automático y conseguir una gestión eficiente de las alarmas de procesos. Si bien ofrece deferentes elementos y funciones que permiten una creación rápida de sistemas SCADA sencillos, en el momento de requerir funciones específicas para sistemas de mayor complejidad será necesario invertir más tiempo en la programación de código.

El software *DAQFactory* permite dos modos de trabajo, el modo de diseño donde se tiene acceso a todas las herramientas y configuraciones necesarias para la creación del sistema SCADA y el modo Runtime que es el modo de operación donde el usuario únicamente tendrá acceso a las opciones configuradas en el propio sistema SCADA para realizar las tareas de supervisión y control de la planta.

En este apartado se detallarán los principales elementos utilizados en el proceso de diseño para obtener el máximo potencial de DAQFactory.

#### 4.2.1.1 Interfaz principal

Una vez iniciado DAQFactory se presentarán una ventana con el típico formato Windows donde quedan diferentes principales áreas utilizadas.

**Menú General y Barras de Herramientas:** En la parte superior de la pantalla se encuentran las funciones generales de Windows, menú con las funciones del software DAQFactory y barras de herramientas específicas para su acceso rápido (Ver figura 4.16).

**Página:** En la parte central de la pantalla se encuentra el área principal de trabajo donde podrán colocarse los diferentes objetos para el diseño del sinóptico y controles del SCADA. El software permite crear un número infinito de páginas y la navegación entre ellas.

**Workspace:** En la zona central aparece como pantalla flotante la workspace que presenta en forma de árbol los principales parámetros y elementos configurados en el sistema como canales, alarmas, páginas, secuencias, etc.

**Command/Alert:** En la parte inferior de la pantalla se encuentra el monitor de comandos, que permitirá ejecutar script y visualizar datos. Además, se presentan diferentes alarmas generadas por DAQFactory como errores de ejecución de código y fallos de conexión con sistemas externos. Esta área será de gran utilidad frente a la depuración de sistemas.

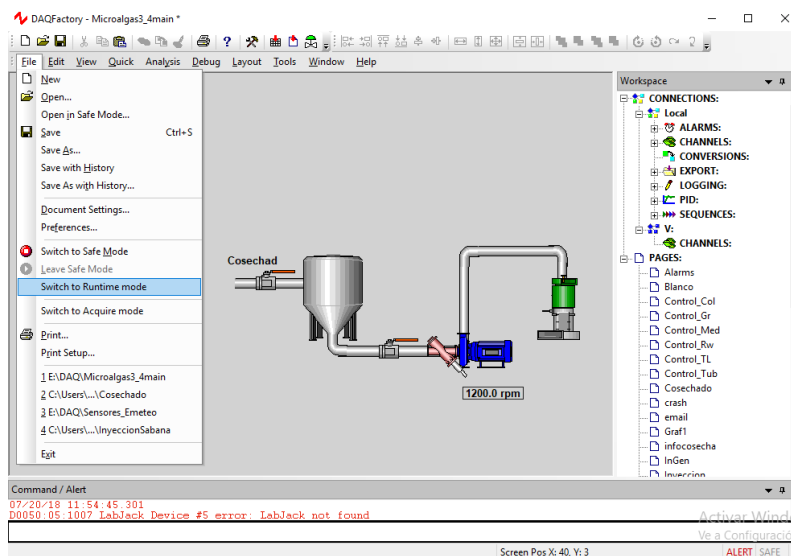


Figura 4.16 Interfaz principal de DAQFactory

#### 4.2.1.2 Configuración de dispositivos I/O

DAQFactory es compatible con un gran número de dispositivos de los principales fabricantes, el primer paso será configurar los dispositivos conectados a nuestro sistema SCADA. Accediendo a la pantalla de configuración de dispositivos (Device Configuration) en el menú rápido (*Quick*) será posible seleccionar el tipo del dispositivo y configurar el protocolo de comunicación que en este caso será incluir la dirección IP dentro de la red Ethernet de la planta (Ver figura 4.17).

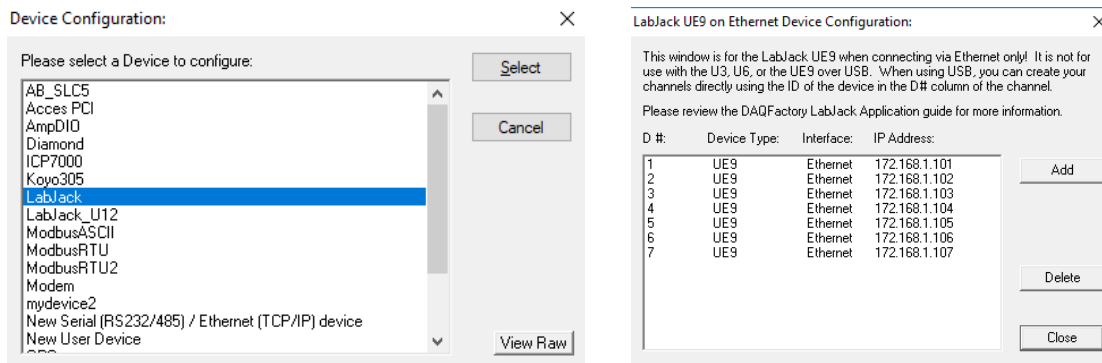


Figura 4.17 Configuración de dispositivos

#### 4.2.1.3 Canal de datos (Channel)

Un channel provee un identificador para una fuente de datos, una vez configurado el dispositivo correspondiente y el puerto asociado será posible acceder a los datos requeridos sin necesidad de recordar su configuración en cada acceso. Los Channels deben ser creados y configurados en la pantalla **Channel Table** a la que es posible acceder desde el menú **Quick**. Para su configuración será necesario rellenar los siguientes campos (Ver figura 4.18):

- **Channel Name.** Nombre que define el dato (Por ejemplo, *Sensor\_Tª*).
- **Device Type.** Tipo de dispositivo encargado de transmitir el dato. En este proyecto son utilizadas tarjetas de adquisición Labjack.
- **D# (Device).** Identificador del dispositivo definido durante su configuración.
- **I/O Type.** Define la configuración del puerto según el tipo de dato tratado. Las opciones son:
  1. **A to D.** Puerto obtiene un valor digital a través de la lectura de una señal analógica
  2. **D to A.** Configura el puerto para obtener una señal analógica a la salida a partir de un valor digital.
  3. **Counter.** Configura el puerto para contar pulsos a alta frecuencia.
  4. **Timer.** Configura puerto para escritura de pulsos a alta frecuencia.
  5. **Dig In.** Lectura de señales digitales.
  6. **Dig Out.** Escritura de señales digitales.
- **Chn# (Channel).** Identificador numérico del puerto del dispositivo asociado al channel. Los dispositivos Labjack cuentan con 16 entradas analógicas y hasta 22 puertos I/O digitales.
- **Timing.** Periodo de lectura sobre los datos del channel en segundos. Un Timing=0 deshabilitara la lectura del channel.
- **Conversión.** Permite seleccionar la curva de ajuste para el tipo de datos leídos. Este parámetro se configura desde la pestaña Conversión en el menú Workspace.
- **History.** Longitud del array de datos que el sistema guarda en memoria de un channel determinado. Esto parámetro es necesario para realizar análisis o representar gráficas a tiempo real en el sistema de supervisión.
- **Avg? (Average).** Activa el preprocesado de los datos del channel para la obtención de valores medios.
- **#Avg.** Número de lecturas utilizadas para la obtención de un valor medio.

- **Group.** Permite identificar y dividir en conjuntos los channels, permitiendo gestionar grupos de pocos elementos, lo que facilita el trabajo cuando existen un gran numero elementos conectados.

Puesto que los Channels tienen formato de array es posible acceder a cualquiera de sus posiciones utilizando la nomenclatura común con índices. Por ejemplo, *Michannel[0]* guardará el último valor tomado.

Una vez creado el channel en la pantalla **Channel Table**, este aparecerá en el listado del menú **Workspace** y será posible desde este menú acceder a la pantalla de configuración de este channel donde será posible modificar las características anteriormente mencionadas, además de poder acceder a la tabla (Pestaña **Table**) de los datos registrados en el channel y una representación gráfica de estos (Pestaña **Graph**).

Channel Name:	Device Type:	D#:	I/O Type:	Chn #:	Timing:	Offset:	Conversion:	History:	Persist:	Avg?:	# Avg:	Quck:	DAQCor:	DC Hz:	DC Int:	Mod #:	Hist:	Brd?:	# Brd:	Group:
u901_Pluvimetro	LabJack		1 A to D	0	1.00	0.00	SenLLuvia	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_RadGlobal	LabJack		1 A to D	1	1.00	0.00	RadGlob_ext	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_VelViento	LabJack		1 A to D	3	1.00	0.00	Veleteprueba	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_VelViento	LabJack		1 A to D	4	1.00	0.00	Anemometro1	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_CD2ext	LabJack		1 A to D	6	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_TempExt	LabJack		1 A to D	8	1.00	0.00	TempExt	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_HumExt	LabJack		1 A to D	9	1.00	0.00	HumRelKaire	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_RadPar	LabJack		1 A to D	10	1.00	0.00	RadPar_ext1	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u901_TempLabjack1	LabJack		1 A to D	133	1.00	0.00	Kelvin_Celsius	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u901
u902_Variador	LabJack		2 A to D	0	1.00	0.00	None	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_NivelTL42	LabJack		2 A to D	4	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_NivelTL41	LabJack		2 A to D	5	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_NivelTL4	LabJack		2 A to D	6	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_ODTL4	LabJack		2 A to D	7	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_TempTL4	LabJack		2 A to D	8	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_pHTL4	LabJack		2 A to D	9	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_NivelRW4	LabJack		2 A to D	10	1.00	0.00	None	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_ODRW4	LabJack		2 A to D	11	1.00	0.00	cal_OxD	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_TempRW4	LabJack		2 A to D	12	1.00	0.00	cal_Temp	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_pHRW4	LabJack		2 A to D	13	1.00	0.00	cal_pH	86400	0	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u902_TempLabjack2	LabJack		2 A to D	133	1.00	0.00	Kelvin_Celsius	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u902
u903_pHTL1	LabJack		3 A to D	0	1.00	0.00	cal_pH	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u903
u903_TempTL1	LabJack		3 A to D	1	1.00	0.00	cal_Temp	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u903
u903_ODTL1	LabJack		3 A to D	2	1.00	0.00	cal_OxD	86400	0	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-1	1	0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	u903

Figura 4.18 Tabla para configuración de Channels (Channel Table).

#### 4.2.1.4 Gestión de Alarmas

El sistema de gestión de alarmas está implementado en DAQFactory, lo que facilita enormemente su configuración y supervisión. Desde la pestaña **Workspace** es posible acceder al área de gestión de alarmas (Ver figura 4.19). Desde esta pantalla será posible la creación, modificación y configuración de alarmas. Una alarma activada por un evento permanecerá activa hasta que el evento deje de estar activo y sea supervisada por un operador mediante la función **Acknowledge**, lo que solo será posible realizar desde esta pantalla.

Las principales opciones disponibles en la pantalla de gestión de alarmas son:

- **Add.** Crea una nueva alarma.
- **Export/Import.** Permite exportar o importar un archivo **.txt** con la configuración de alarmas.
- **Acknowledge All.** Realiza la supervisión manual de todas las alarmas, todas aquellas alarmas cuyos eventos de disparo no estén activos serán canceladas.
- **Set Logging File.** Permite configurar la dirección del archivo **.dat** donde quedarán registrados de forma automática todos los eventos relacionados con alarmas. En caso de no ser configurado este parámetro el archivo será creado de forma automática en la carpeta de instalación de DAQFactory.

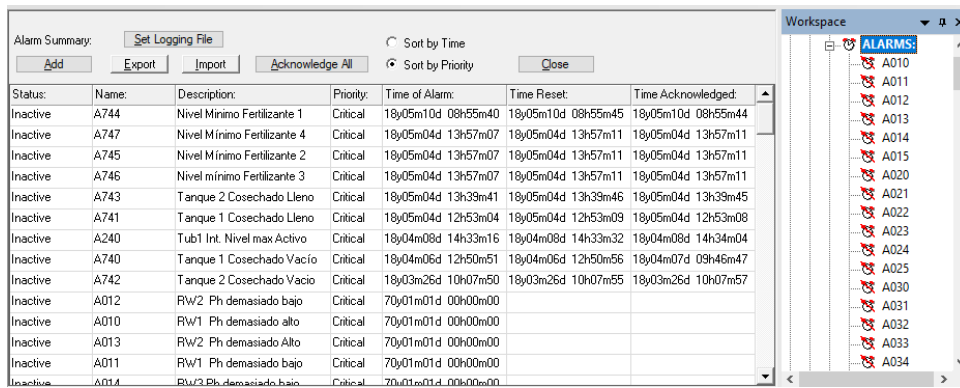


Figura 4.19 Gestión de alarmas.

La información aportada para realizar el proceso de supervisión de alarmas viene dada por los siguientes parámetros:

- **Status.** Informa si la alarma se encuentra en estado activo o inactivo en el momento actual.
- **Name.** Identificador de la alarma.
- **Description.** Mensaje descriptivo de la alarma.
- **Priority.** Prioridad de la alarma, alarma de mayor prioridad aparecerán en una posición superior de la tabla.
- **Time of Alarm.** Indica fecha y hora de la última vez que la alarma fue disparada por un evento.
- **Time Reset.** Indica fecha y hora de la última vez que el evento de disparo ha dejado de estar activo mientras la alarma se encuentra activa.
- **Time Acknowledge.** Indica fecha y hora de la última vez que se activó la función acknowledge, por parte de un operador, para cancelar la alarma.

Para la configuración de cada alarma será necesario introducir los parámetros que condicionan el disparo de esta y además es posible programar mediante secuencias locales diferentes eventos que ocurran al pasar a cada uno de los estados (Disparo, Reset y Acknowledge), como enviar un aviso por email o activar y desactivar indicadores en el sistema SCADA.

DAQFactory permite introducir como parámetros expresiones condicionales, como ejemplo en la figura 4.20 la condición de disparo será el valor de la variable global A010 igual a 1. En este caso el identificador de la alarma coincide con el nombre de la variable que condiciona el disparo.

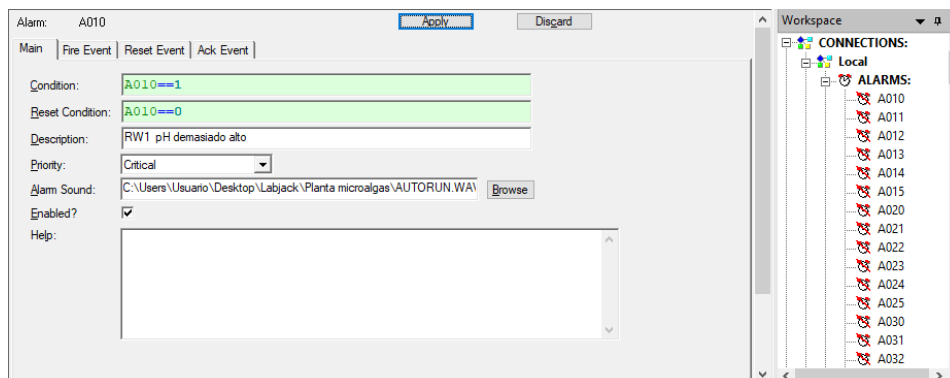


Figura 4.20 Configuración de alarma.



4.2.1.5 Registros de datos

Una de las partes más importantes de un sistema de adquisición de datos es la posibilidad de guardar la ingente cantidad de datos para su posterior análisis y procesado. Para ello DAQFactory dispone de dos tipos de sistemas para generar archivos de registro de datos. A través de la pestaña *workspace* podemos acceder a las áreas de configuración *Logging* y *Export* en las que será posible configurar diferentes parámetros.

En la sección **Loging** se podrá configurar la creación de diferentes archivos para el registro de grupos de datos en continuo, derivados de los procesos de adquisición realizados en la planta. Para ello solo será permitido seleccionar Channels para la creación de estos registros (Ver figura 4.21). DAQFactory permite la opción de guardar en diferentes formatos de archivo (ASCII y binario de enteros o flotantes), incluso la creación de bases de datos ODBC (Open Data Base Conectivity) como un estándar que permite acceder a los datos desde cualquier aplicación a través del lenguaje SQL (Structured Query Language).

En la sección **Export** se podrán configurar la creación de diferentes archivos para el registro de grupos de datos a partir de eventos concretos. En este tipo de archivos será posible registrar de forma instantánea el valor de cualquier tipo de variable global en el momento concreto que se haya definido la creación del registro (Ver figura 4.22).

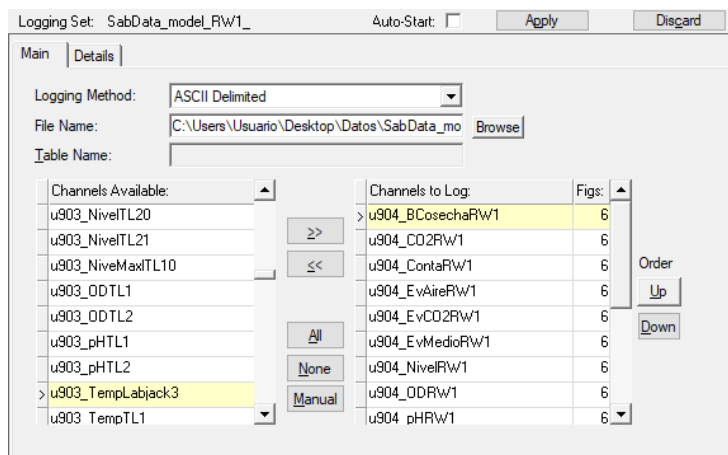


Figura 4.21 Configuración de archivo logging.

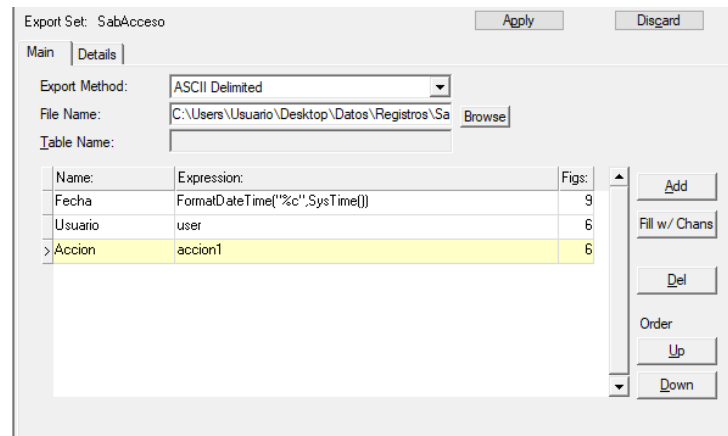


Figura 4.22 Configuración de archivo Export.

Un ejemplo para el uso de registros del tipo **export**, sería la creación de un archivo para un sistema de control de usuarios donde queda registrado el momento de la acción, el usuario y el tipo de acción (entrada, salida, intento de acceso no valido...), que son datos gestionados con variables de programa.

#### 4.2.1.6 Programación de Secuencias

DAQFactory implementa diferentes opciones para realizar la mayoría de las funciones necesarias para cualquier aplicación industrial. Cada objeto posee diversos parámetros configurables que dan al programa gran flexibilidad y facilita principalmente el trabajo de diseño y creación de una aplicación. Para permitir sacar el máximo rendimiento a DAQFactory se han introducido las secuencias, lo que equivale a funciones realizadas en lenguaje de programación. Las secuencias pueden utilizarse como programas funcionando en paralelo que realizan diversas funciones o como pequeñas funciones activadas por eventos. Para ello la mayor parte de objetos utilizados para el diseño gráfico del interfaz SCADA permiten introducir expresiones o directamente pequeñas funciones **Quick Sequence**.

El lenguaje de programación de DAQFactory es un lenguaje orientado a objetos próximo a C++, por lo que contiene funciones comunes en este tipo de lenguajes como `if()`, `for()`, `while()`, así como símbolos condicionales y matemáticos comunes en los lenguajes de programación. Sin embargo, contiene una gran cantidad de funciones propias que serán de gran ayuda conocer, así como los tipos de variables y su declaración.

#### Declaración de Variables

Adema de los Channels para almacenar datos, DAQFactory soporta diferentes tipos de variables: publicas, registros, privadas y estáticas. Todas son utilizables en secuencias y expresiones dentro de componentes como mandos e interruptores.

- Las variables públicas o globales son accesibles desde cualquier función y puede ser declaradas en cualquier momento usando la función *global* para números y *global string* para cadenas de caracteres. Por ejemplo:

```
global MiVariable =3
global string MiVariable ="Hola mundo"
```

- Las variables privadas o locales solo son accesibles dentro de la misma secuencia en la que son declaradas y no puede ser utilizadas en expresiones de componentes u objetos. En este caso se utilizará la función *private* para su declaración.

```
private MiVariable =3
private string MiVariable ="Hola mundo"
```

- Las variables estáticas son de acceso global pero invariables una vez declaradas. Son utilizadas para guardar un valor constante. Son declaradas con la función *Define*.

```
Define pi=3.14
Define string Company="Azeotech"
```

- Las variables Registro son guardadas en el sistema de registro de Windows por lo que el valor guardado no desaparecerá y persistirá entre varias sesiones de DAQFactory. Los registros no necesitan ser declarados previamente, son creados en el momento que se solicita el acceso utilizando el prefijo **Registry**. para valores enteros o **Registry.str** para cadenas de caracteres.

Las variables registro serán de gran utilidad, pero deben tenerse en cuenta sus limitaciones como que no soportan arrays de datos, solo aceptan valores numéricos enteros y el acceso es más lento que al resto de tipo de variables.

```
Registry.MiVariable=3
Registry.strMiVariable="Hola mundo"
```

- Todos los tipos de variables a excepción de los registros soportan el uso de arrays que podrán ser declarados mediante la nomenclatura común e índices.

```
global Miarray=(1,2,3)
global string Miarray=("Hola","Mundo")
Miarray[0]="Hola"
```

4.2.1.7 Lazos de Control PID

El controlador PID (Controlador Proporcional Integral Derivativo) es uno de los mecanismos de control por realimentación de mayor implementación en los sistemas de control industrial. El PID es un algoritmo de control robusto que consta de tres parámetros: el proporcional que depende del error actual, el integral que depende de los errores pasados y el derivativo que es una predicción de los errores futuros. En un sistema realimentado (Ver figura 4.23), donde el error representa la diferencia entre la salida del sistema deseada y la salida real obtenida [41].

En particular, los controladores PID resultan de gran utilidad cuando no se conoce el modelo de la planta y por tanto no es posible utilizar métodos de diseño analíticos. En la actualidad son muy usados en la industria modificaciones del control PID como el I-PD y versiones de dos grados de libertad como el PI [42].

El ajuste de parámetros de un controlador se puede realizar teórica o experimentalmente, registrando la respuesta dinámica del sistema ante cambios de consigna o produciendo perturbaciones transitorias. El objetivo es obtener una respuesta optima y estable ante cambios de consigna o perturbaciones [43]. En la literatura existen diferentes reglas de sintonización que permitirán obtener los valores adecuados para realizar una sintonización fina de los controladores PID, por lo que no serán tratados en este trabajo.

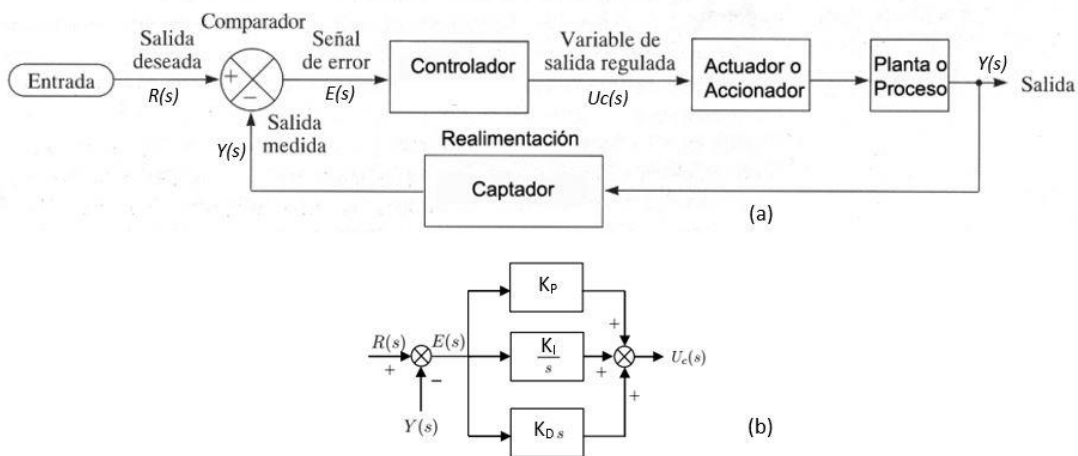


Figura 4.23 Esquema de control en el dominio de la frecuencia.  
 a. Esquema de sistema realimentado; b. Diagrama controlador PID paralelo.

Debido a la importancia del uso de algoritmos PID para el control de procesos industriales, DAQFactory trae implementada la opción de crear de forma sencilla tantos lazos de control PID como sean necesarios. Accediendo a la sección PID en la pestaña de Workspace es posible crear un nuevo lazo de control y una vez seleccionado en la lista se abrirá la pantalla donde aparecen los diferentes parámetros necesarios para su configuración (Ver figura 4.24).

- **Process Variable.** Variable de proceso o salida del sistema que es necesario controlar (Y).
- **Set Point.** Valor de referencia en el que se desea mantener la variable de proceso (R).
- **Output Channel.** Variable que actúa como señal de control sobre un actuador (Uc).
- **P,I,D.** Parámetros del controlador (Equivalente a Kp, Ki, Kd) que deben de calcularse previamente mediante las reglas existente en la literatura sobre ingeniería de control.
- **PID Type.** Permite seleccionar entre dos variantes del controlador PID, la versión estándar también conocido como no interactivo y la versión paralela. El algoritmo elegido afectara en el valor que debe ser introducido como parámetros del controlador PID.
- **SP Range.** En este apartado debe definirse los límites del rango en el que puede tomar valores la variable de la referencia (Set Point).
- **Out Range.** Este apartado permite limitar el rango de valores que tomará la variable de salida (Output).
- **Loop Interval.** Permite definir el periodo, en segundos, de la frecuencia con que actuara el controlador sobre el sistema. DAQfactory recomienda que el intervalo sea mayor de 0.01 s.
- **Integral Limit.** Permite imponer un valor máximo absoluto al valor obtenido por efecto del parámetro integral. El efecto es una función anti wind-up sobre el valor de la integral.

DAQFactory implementa también un sistema de autotuning al que se puede acceder a través de la pestaña **AutoTune**. Para su utilización únicamente es necesario haber introducido la variable de proceso, referencia y variable de salida en la pantalla **settings**, e introducir el valor de amplitud de la señal que utilizara para su sintonizado (Relay High).

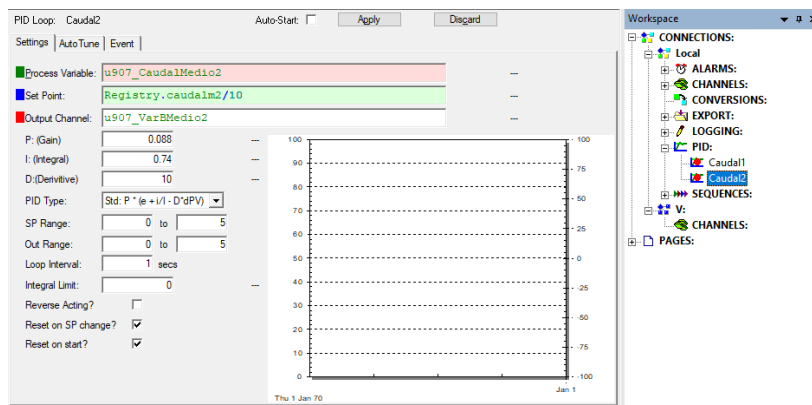


Figura 4.24 Pantalla de configuración de PID.

A través de la pestaña **Event** será posible programar eventos y condiciones mediante código que se ejecutaran mientras el controlador este activo.

DAQFactory también permite la activación y desactivación de los controladores PID desde secuencias. Para ello dispone de las funciones `beginpid()` / `endpid()`. Para su utilización desde cualquier secuencia únicamente es necesario indicar entre los paréntesis el identificador del PID como `"beginpid(my pid);"`.

4.2.1.8 Configuración de Objetos gráficos

DAQFactory pone a disposición del usuario una serie de objetos para el diseño gráfico de la interfaz del sistema de supervisión. A través del segundo botón del ratón sobre la pantalla de trabajo, se accede a un menú de objetos predefinidos (Ver figura 4.25). Este menú consta de indicadores leds, gran variedad de botones y controles y diferentes tipos de indicadores para datos y medidas. Además, permite crear objetos a partir de imágenes importadas desde otros programas (ej. Symbol Factory) con la opción **Symbol**.

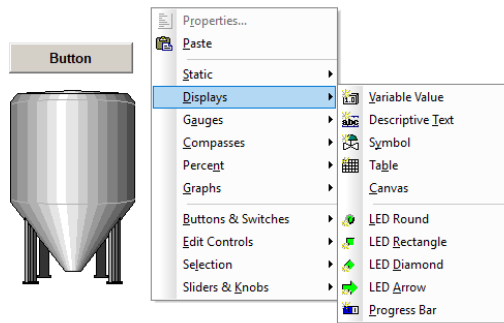


Figura 4.25 Menú de objetos predefinidos.

Una vez creado el objeto en el espacio de trabajo podrá seleccionarse (Ctrl+1<sup>er</sup> botón del ratón) y acceder al menú de propiedades (Properties) para su configuración. En el panel de propiedades aparecen diferentes pestañas desde donde acceder a las diferentes características modificables del objeto en cuestión (Ver figura 4.26). Dependiendo el tipo de objeto podrán variar el número de pestañas y características configurables, pero las opciones o funciones principales son comunes en todos ellos. Existen diferentes parámetros para modificar las características de representación gráfica del objeto, pero son destacables principalmente las encontradas en las pestañas **Main y Action**.

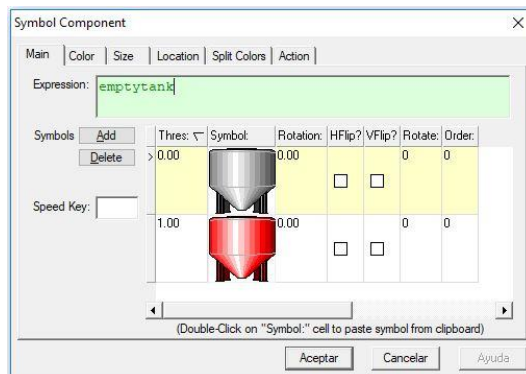


Figura 4.26 Menú propiedades de objeto Symbol.

**Pestaña Main**

Las opciones de la pestaña **Main** permiten dar un comportamiento dinámico al objeto, de forma que este podrá alternar entre diferentes diseños gráficos, teniendo en cuenta el valor obtenido en el cuadro **Expresion**. Este cuadro permite introducir una expresión matemática dependiente de una variable global o un channel, cuyo resultado será comparado con la condición numérica que actuará como disparador y será introducida en el apartado **Thres** a través del botón **Add** es posible crear una nueva fila donde será posible introducir un nuevo estado simplemente importando un nuevo diseño,

cargado previamente en el portapapeles, mediante un doble clic sobre la celda. Respecto al número de estados el programa no impone ningún límite, pero un objeto demasiado pesado puede afectar a la velocidad de carga de la interfaz.

### Pestaña Action

En la pestaña **Action** es posible añadir funciones a un objeto y estas serán activadas al hacer clic sobre dicho objeto. En la figura 4.27 puede observarse las opciones y apartados que pueden ser configurados. En el apartado **Action** puede seleccionarse una de las funciones predefinidas y acto seguido se activarán los apartados que necesitan ser configurados para esa determinada función. Es posible añadir varias funciones para un mismo objeto a través del botón **Add**. Estas funciones serán ejecutadas de forma automática en el orden en que han sido creadas, la posición queda indicada mediante una etiqueta a la derecha del panel.

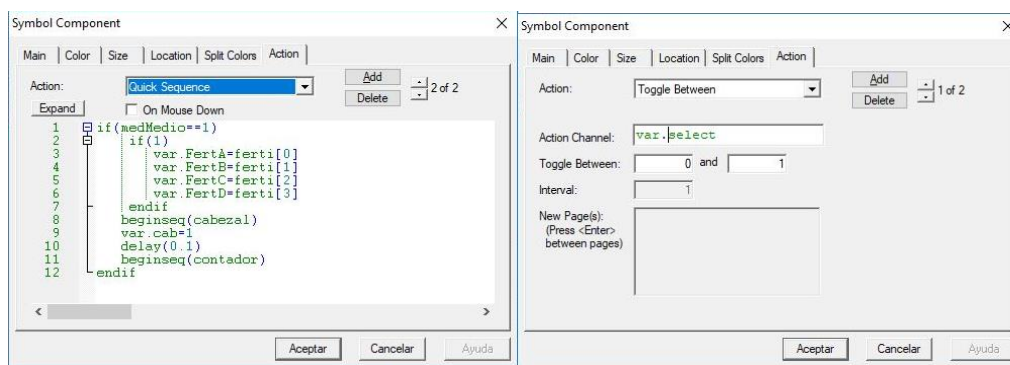


Figura 4.27 Propiedades de objeto en pestaña Action.

Entre las diversas posibilidades cabe destacar las funciones **Set to**, **Increment** o **Toggle Between** que permiten modificar el valor de la variable indicada en el apartado **Action Channel**. La opción **Quick Sequence** permite ejecutar pequeños programas al hacer click sobre el objeto y las funciones **Start/Stop Sequence** o **Start/Stop PID** permiten controlar la ejecución de secuencias programadas en el sistema o la ejecución de lazos de control también con un simple click. Existen además las funciones **Pop-up** que son aquellas relacionadas con la apertura y cierre de ventanas emergentes.

#### 4.2.2 Symbol Factory

Symbol Factory [44] es una herramienta de gestión de librerías gráficas. Este componente permite acceder a más de 3600 objetos industriales prediseñados que podrán ser añadidos como elementos gráficos, animados o no, durante la fase de diseño del interfaz de un sistema SCADA. Estos objetos están basados en imágenes vectoriales y permiten su redimensionado en escala sin pérdida de calidad. En la figura 4.28 se observa la interfaz del programa, donde se diferencian el listado de librerías cargadas a la izquierda y los objetos que componen la librería seleccionada a la derecha. En la zona superior izquierda muestra la imagen a mayor tamaño del objeto seleccionado.

Una vez seleccionado el objeto a integrar en el sistema SCADA será posible modificar algunas características como el color y la orientación del objeto a través del botón **Options**, acto seguido se utilizará el botón **Copy** para cargar el objeto en el portapapeles de Windows. Una vez realizados estos

pasos, desde el software de diseño SCADA únicamente será necesario utilizar la función pegar (Paste) en la pantalla elegida. Una vez introducido el objeto este podrá ser modificado con las funciones propias del software SCADA para objetos.

SymbolFactory también permite cargar imágenes ajenas a sus librerías desde la función **Import symbol** en el menú **File**, lo que permitirá introducir en el software SCADA cualquier imagen. En este caso las imágenes deben de encontrarse en formato de mapa de bits (.bmp). Debe tenerse en cuenta que una vez introducidas en el software SCADA, en caso de ser necesario modificar su tamaño, su calidad se verá mermada. La pérdida de calidad es debida a que al no tener un formato vectorial la resolución de la imagen estará directamente relacionada con el tamaño.

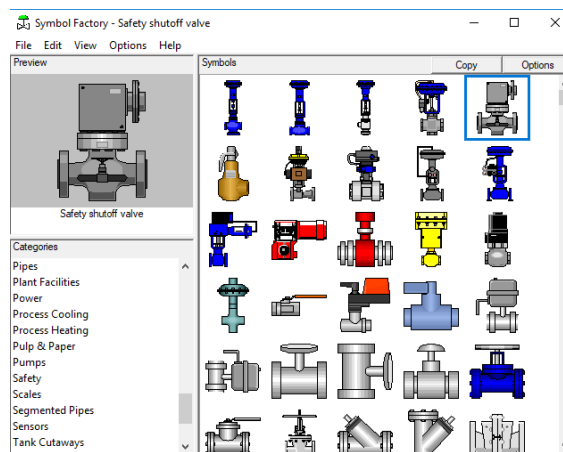


Figura 4.28 Interfaz SymbolFactory.

### 4.2.3 LjControlPanel

LjControlPanel [6] es una de las aplicaciones instaladas junto a los drivers de las tarjetas de adquisición Labjack UE9. Esta aplicación permite la configuración de los dispositivos Labjack y realizar pruebas sobre sus diferentes funciones y puertos IO (Input Output).

Una vez iniciado el programa, este buscara todos los dispositivos Labjack conectados a la red. En el caso de ser una red Ethernet, la pantalla principal dará información sobre la configuración de red del dispositivo (Ver figura 4.29). Además, ofrecerá un menú desde donde acceder a las diferentes funciones:

- **Refresh.** Actualiza los datos de red mostrados en esta pantalla.
- **Reset.** Devuelve la configuración del dispositivo a valores de fábrica.
- **Write values.** Guardara en el dispositivo los nuevos datos de red, que pueden ser modificados de forma manual.
- **Test.** Permite el acceso al panel de prueba de las funciones y puertos IO del dispositivo.
- **Config IO Defaults.** Permite el acceso al panel de configuración por defecto de los puertos IO durante el encendido del dispositivo.

#### Panel Test

Este panel (Ver figura 4.30) permite comprobar de forma manual el funcionamiento de las entradas y salidas de la tarjeta Labjack, que se encuentran repartidas en cinco áreas.

- **Analog Inputs.** Permite supervisar los valores medidos en las entradas analógicas y la temperatura de la tarjeta, medida por un sensor integrado.
- **Timers and Counters.** Permite supervisar el funcionamiento de los timers y counters, configurándolos (Config) sobre los pines del puerto F en caso de no estar ya configurados por defecto.
- **Digital Direction.** Permite definir los pines como entradas o salidas (Checked=Output).
- **Digital State.** Permite cambiar el estado (High/Low) de los pines configurados como salidas.
- **Analog Outputs.** Permite modificar manualmente el valor de salida de las dos salidas analógicas a través de los puertos DAC (Digital Analogic Converter) de los dispositivos Labjack.

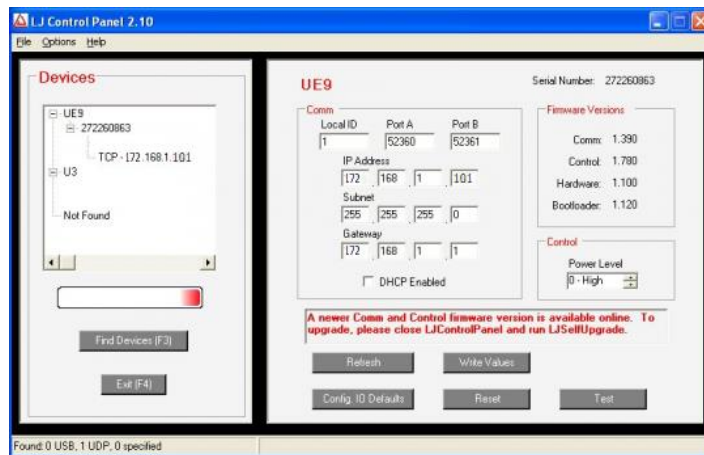


Figura 4.29 Panel inicial LJControlPanel.

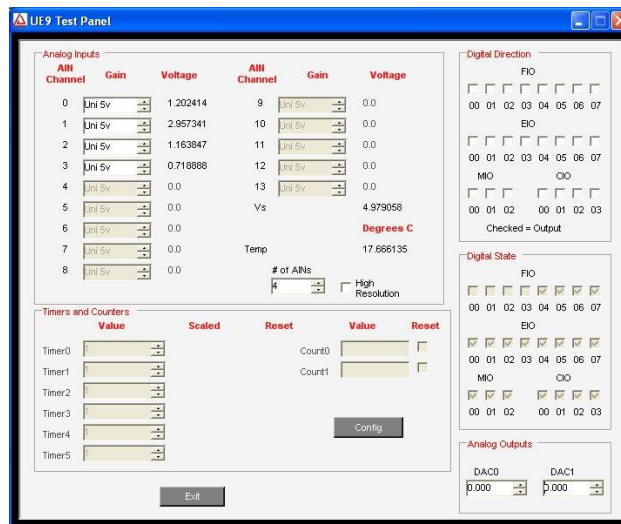


Figura 4.30 Panel de prueba de entradas y salidas.

### Panel de Configuración por Defecto

Es de gran importancia definir el estado por defecto en el que se iniciaran los diferentes entradas y salidas digitales en las tarjetas Labjack UE9. Ya sea una puesta en marcha manual o un reinicio debido a un incidente con la alimentación del dispositivo, este no guardará el estado anterior, sino que reiniciara la configuración por defecto configurada. Incluso si la configuración de los puertos es modificada por software desde el sistema SCADA, esta no se hará efectiva hasta que sea restaurada



completamente la comunicación. En este tiempo pueden producirse errores, alarmas e incluso activaciones de actuadores, todo ello debido a un estado inicial de las IOs erróneo.

Desde este panel (Ver figura 4.31) es posible grabar los parámetros por defecto de fabrica (Write Factory Values) o grabar los parámetros definidos de forma manual para una función específica (Write Values). Los principales parámetros modificables se reparten en las siguientes áreas:

- **Digital Direction.** Permite definir como entradas o salidas cada uno de los pines digitales. Debe tenerse en cuenta la configuración interna de pull-up de las entradas digitales de los dispositivos Labjack UE9. En circuito abierto el pin configurado como entrada presentara un valor High por defecto.
- **Digital State.** En este apartado se podrá definir el valor por defecto (High / Low) de aquellos pines configurados como salidas.
- **Timer/Counter.** En este apartado se definen el número de counters y timers configurados en el dispositivo. Debe tenerse en cuenta que hay un máximo de 5 timers activables y que siempre ocuparan los pines, en orden ascendente, del puerto F comenzando en el FIO0. Mediante una frecuencia base de 48Mhz y un divisor de 8 bits será posible configurar la frecuencia de trabajo de los timers. Respecto a los counter existen un máximo de 2 activables, ocuparan pines consecutivos y comenzaran siempre tras el último timer configurado. En caso de no haberse configurado ningún timer el primer counter comenzara en FIO0.
- **Analog Output.** Permite definir un valor inicial por defecto de las salidas analógicas a través de los puertos DAC de los dispositivos Labjack UE9.
- **Watchdog.** Permite configurar un sistema de seguridad Watchdog implementado sobre el puerto de comunicación Ethernet. En el caso de que el dispositivo no entable comunicación en el periodo configurado, será posible producir un reinicio (Reset) del dispositivo e incluso cambiar el estado de un pin del puerto FIO (Set DIO state) para indicar el posible error mediante un sistema de señalización.

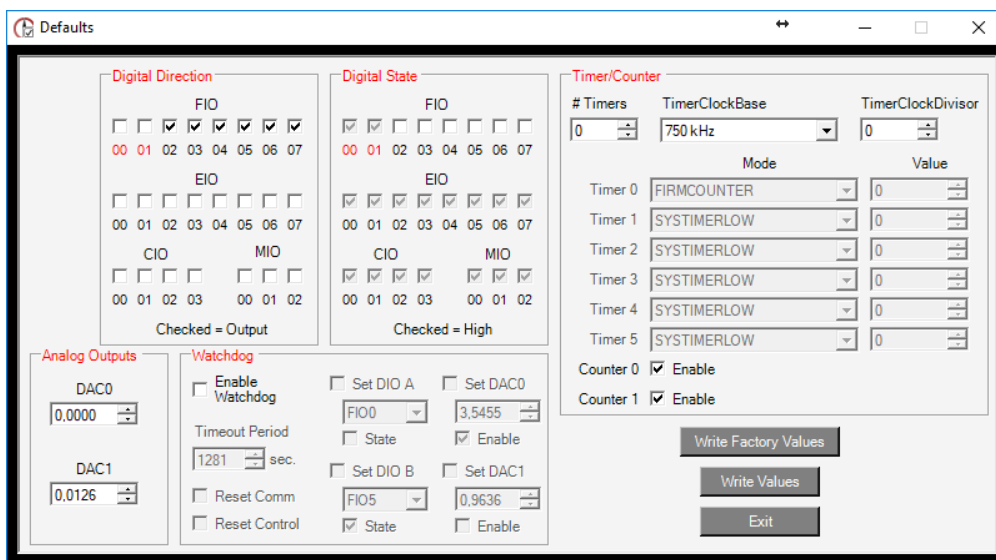


Figura 4.31 Configuración de valores por defecto de entradas y salidas.

## 5. RESULTADOS

Este capítulo se encuentra dividido en tres apartados, en el primero de ellos se encuentra explicada a modo de manual la herramienta SCADA obtenida como definiendo el uso y configuración de cada una de las funciones implementadas en la herramienta. En los dos últimos apartados queda detallado el proceso de puesta en marcha de la herramienta y los resultados obtenidos por la evaluación, según la guía Gedís, realizada por el personal de la planta.

### 5.1 Herramienta SCADA

#### 5.1.1 Supervisión de Cultivos

Una vez iniciada la versión Runtime aparecerá la pantalla inicial (Ver figura 5.1) donde ya podremos encontrar los elementos comunes pertenecientes a la plantilla patrón como:

- Logotipos de entes involucrados, distribuidos en el marco superior.
- Fecha y Hora, situadas en la parte central superior de la ventana.
- Información sobre alarmas en la parte central superior bajo fecha y hora.
- Menú general en la zona inferior central de la pantalla.
- Menú de funciones de sistema en la zona inferior derecha de la pantalla.

En la zona central de la pantalla podemos encontrar un mapa con las zonas funcionales de la planta, desde el cual podemos acceder a cada una de ellas simplemente seleccionando el icono correspondiente con el ratón. Además, esta pantalla ofrece información básica sobre las variables meteorológicas y leds que indican si la tarjeta de adquisición de cada zona está activa. Esta pantalla ya nos permite una visión general del funcionamiento de la planta.

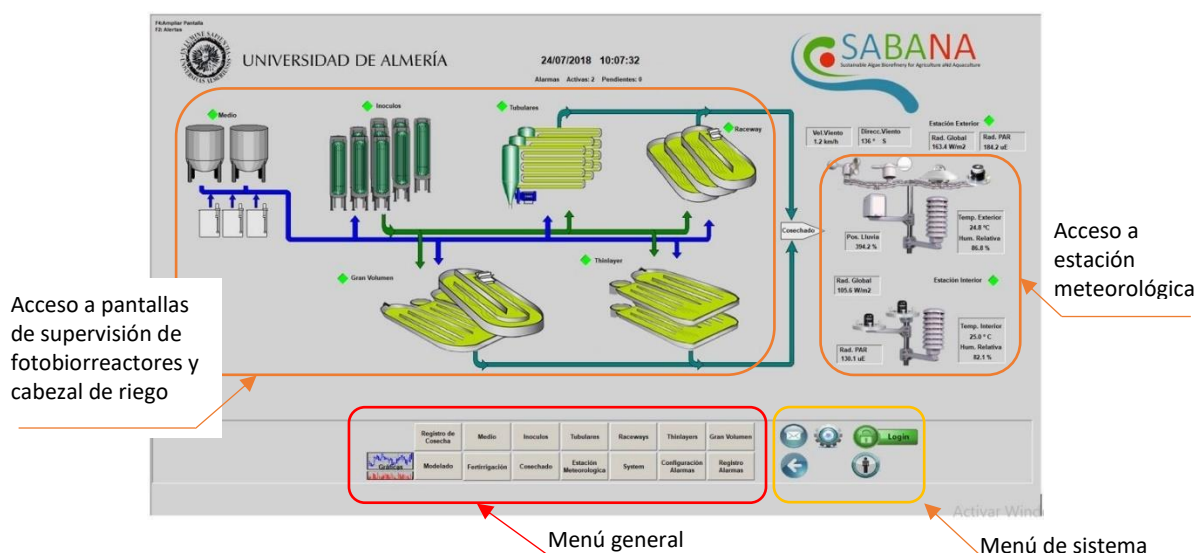


Figura 5.1 Pantalla inicial.

El menú general se encuentra visible en todo momento en la parte inferior central, con el objetivo de facilitar la navegación. Este menú permitirá acceder a las pantallas de cualquiera de las áreas que

definen la planta, así como pantallas de configuración y otros procesos. El menú de funciones del sistema será también visible en todo momento y contendrá los siguientes botones:

- **Volver.** Permite desde cualquier pantalla volver al menú principal.
- **Login.** Permite introducir o cambiar un usuario para acceder a opciones restringidas.
- **Configuración Login.** Permite acceso a la pantalla donde crear o eliminar usuarios del sistema.
- **Email.** Permite configurar los parámetros de avisos mediante correo.

Una de las principales tareas realizadas por el sistema SCADA es la supervisión de los cultivos de microalgas. Siguiendo las indicaciones de los operarios, han sido diseñadas pantallas independientes para cada grupo de fotobiorreactores con el objetivo de facilitar su supervisión. De esta forma se han obtenido cinco pantallas:

- Columnas de inóculos
- Fotobiorreactores Tubulares
- Fotobiorreactores Raceway
- Fotobiorreactores Thinlayer
- Gran Volumen (Fotobiorreactores Raceway y Thinlayer exteriores)

Estas pantallas comparten la misma plantilla para el diseño de su interfaz (Ver figura 5.2) y estarán formadas cada una de ellas por un sinóptico, una gráfica de tendencias, un cuadro de interruptores principales y botones de acceso a controles manuales y configuración de consignas (Ver figura 5.3).

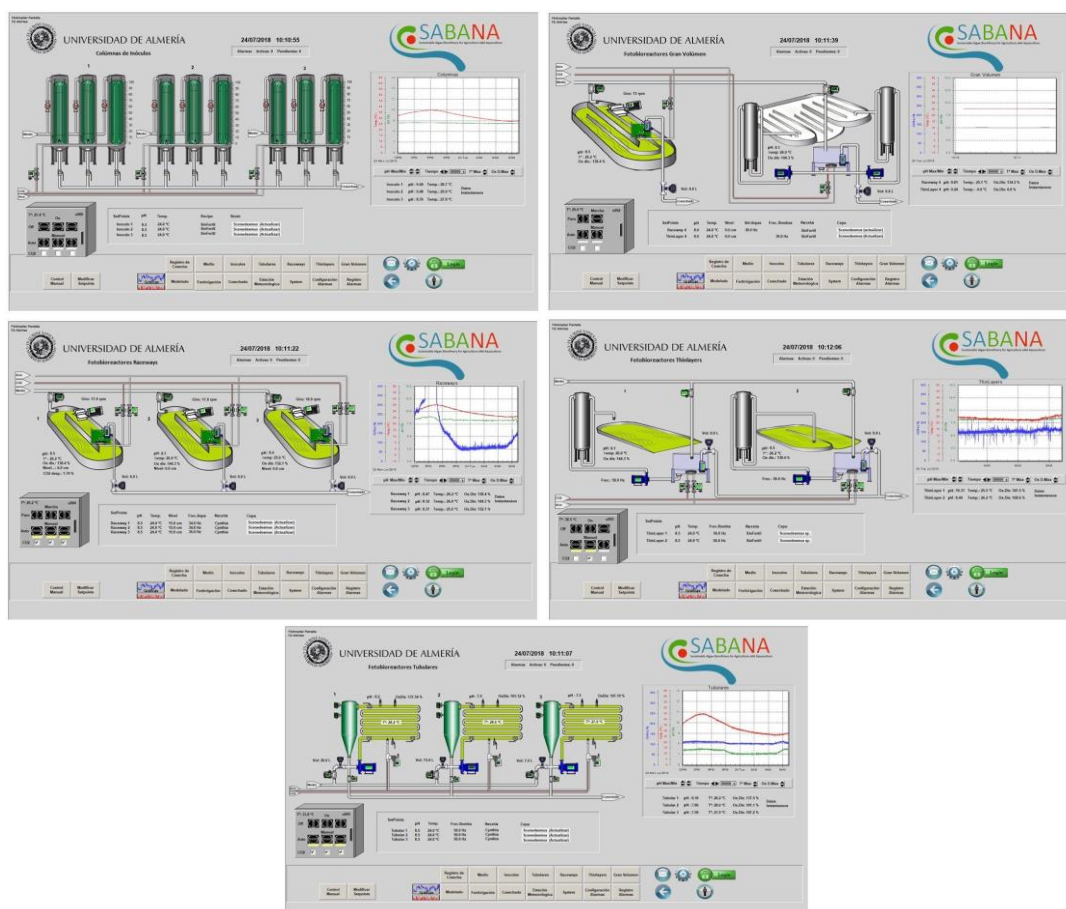


Figura 5.2 Pantallas dedicadas a la supervisión de cultivos.

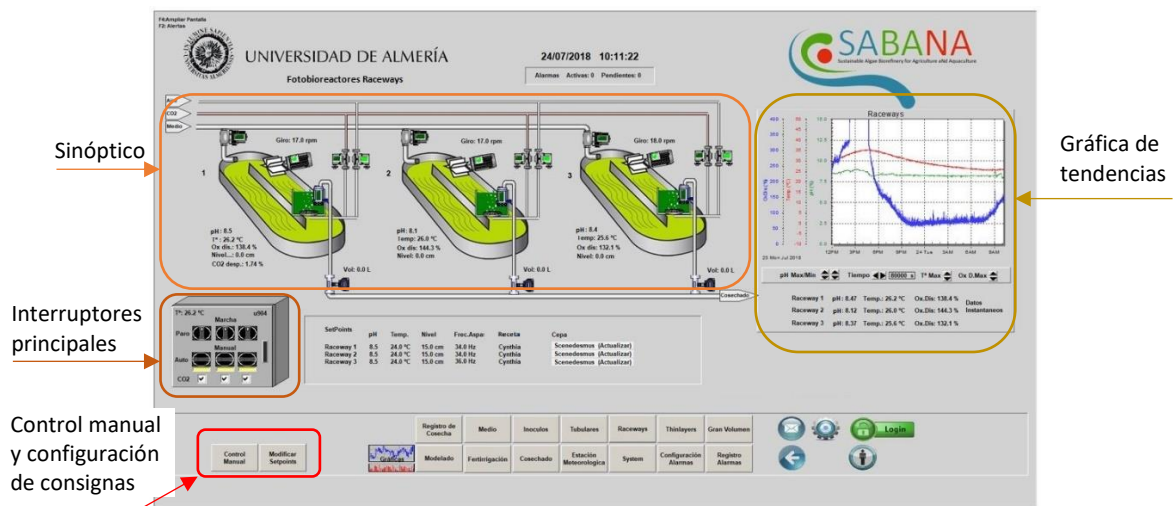


Figura 5.3 Estructura de pantalla de supervisión de cultivos.

El sinóptico representa los principales elementos del sistema de cultivo y en el quedan indicados los valores de las medidas tomadas en el medio como la temperatura, el óxido disuelto y pH. En un cuadro en la parte inferior son indicadas los valores de consignas (Setpoints) configurados además de datos del cultivo como el tipo de microalga y la receta de fertilizante utilizada por el sistema de fertirrigación (Ver figura 5.4). En la zona inferior izquierda del menú general se encontrará la opción **Modificar Setpoint** que abrirá la pantalla emergente donde será posible introducir los valores de consignas (Ver figura 5.5).

SetPoints	pH	Temp.	Nivel	Frec.Aspa:	Receta	Cepa
Raceway 1	8.5	24.0 °C	15.0 cm	34.0 Hz	Cynthia	Scenedesmus
Raceway 2	8.5	24.0 °C	15.0 cm	34.0 Hz	Cynthia	Scenedesmus
Raceway 3	8.5	24.0 °C	15.0 cm	36.0 Hz	Cynthia	Scenedesmus

Figura 5.4 Cuadro de información sobre consignas (setpoints) configurados.

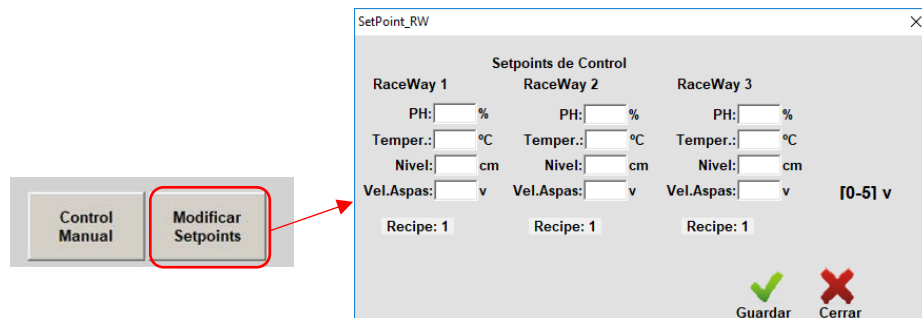


Figura 5.5 Configuración de consignas (Setpoints).

Como indicadores visuales todos los actuadores tienen asociado un led que se iluminará en verde brillante mientras se encuentren activos y mantendrán un tono oscuro durante su inactividad. En la parte superior de cada fotobiorreactor se encontrará un identificador numérico (1,2,3,4), que formará parte también de la identificación de sensores y actuadores (Ver figura 5.6).

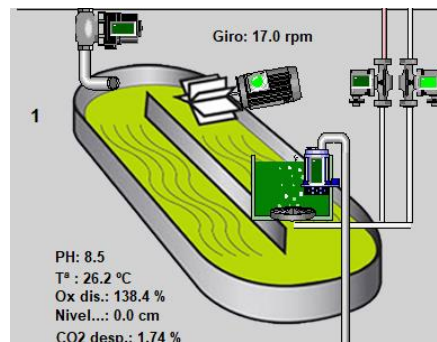


Figura 5.6 Indicación de actuadores.

La grafica de tendencia mostrara todos los parámetros de un único fotobiorreactor. Bastará con hacer clic sobre el sinóptico del fotobiorreactor elegido para graficar los datos de este. Bajo la gráfica han sido añadido los valores numéricos de todos los fotobiorreactores para facilitar su comparación.

En el cuadro de mandos principales se encuentran los interruptores selectores de dos posiciones **Marcha/Paro** y **Auto/Manual** para cada uno de los sistemas de cultivo (Ver figura 5.7). Se han añadido casillas de verificación (Checkbox), para permitir activar o desactivar de forma independiente el sistema de control de pH durante el funcionamiento del sistema en modo automático. Este cuadro también aporta información sobre el identificador de la tarjeta de adquisición que controla los elementos mostrados y la temperatura alcanzada en el interior del cuadro eléctrico aportada por el propio módulo Labjack UE9.

Los elementos de un sistema en marcha pueden ser actuados de forma manual o por medio de funciones automatizadas, según la posición del selector **Auto/Manual**. Además, un sistema en marcha quedará indicado en el sinóptico por el color verde del icono principal del fotobiorreactor, que en caso contrario se encontrará en color blanco. Al seleccionar la opción **Paro** todos los elementos del sistema son desactivados tanto para las funciones automáticas como para los controles manuales.

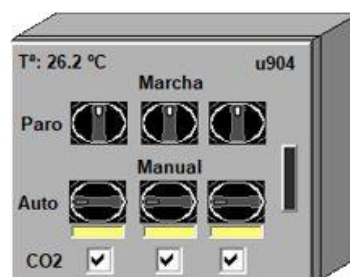


Figura 5.7 Cuadro de controles de proceso.

Al seleccionar la opción **Auto** de un sistema en **Marcha** permitirá que sus actuadores sean controlados por las diferentes funciones automáticas y desactivara los controles manuales por seguridad. Las funciones básicas serán aquellas encargadas de la recirculación del cultivo como el control de giro de las ruedas de paletas en los fotobiorreactores Raceways, o las bombas de recirculación en fotobiorreactores Tubulares y Thinlayers. Estas funciones serán controladas por la secuencia **control\_movil**. Mientras el sistema este en modo **Auto**, este podrá ser actuado por los procesos automáticos de fertirrigación y cosechado. Como refuerzo para la supervisión del modo **Auto** se ha añadido un indicador led bajo el selector, que se iluminara de color amarillo en caso de estar activa esta función.

En el caso de ser necesario la actuación de forma manual del sistema, será necesario ponerlo en modo manual y tener los permisos necesarios para acceder a los controles. Pulsando el botón **Control Manual** se abrirá un panel donde será posible actuar cada elemento de forma independiente (Ver figura 5.8).

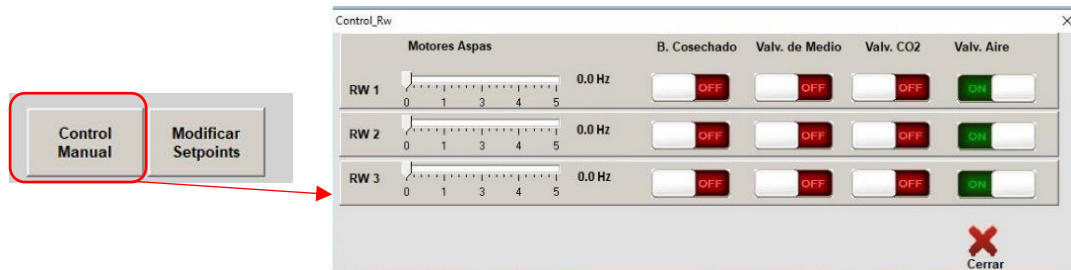


Figura 5.8 Pantalla emergente con panel de control de Raceways.

### 5.1.2 Sistema de Control de pH

Ha sido implementado en el sistema SCADA un sistema automático de control de pH necesario para el correcto desarrollo de los cultivos. El control implementado es del tipo Todo-Nada y alternara la inyección de CO<sub>2</sub> y aire mediante las electroválvulas instaladas en cada uno de los fotobiorreactores, teniendo en cuenta como variable de proceso el pH medido. El proceso también tiene en cuenta la radiación solar recibida para desconectar el sistema, principalmente en los periodos nocturnos, cuando el cultivo no realiza la fotosíntesis y no es necesario el aporte de CO<sub>2</sub>. De esta forma se consigue un ahorro en energía y CO<sub>2</sub> consumidos por el sistema.

Para la activación automática del sistema sobre un determinado fotobiorreactor será necesario que en sus mandos principales se encuentre seleccionadas las opciones **Marcha** y **Auto** con la casilla de verificación (Checkbox) de CO<sub>2</sub> activada. Esta casilla permite la desactivación del control automático de CO<sub>2</sub> independientemente del resto de procesos automáticos de la planta en caso de ser necesario. El sistema utilizará el valor de consigna configurado en el panel emergente de **Setpoints de Control** (Ver figura 5.9) al que se accederá a través del botón **Configurar Setpoint**, que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla del fotobiorreactor sobre el que se esté actuando.

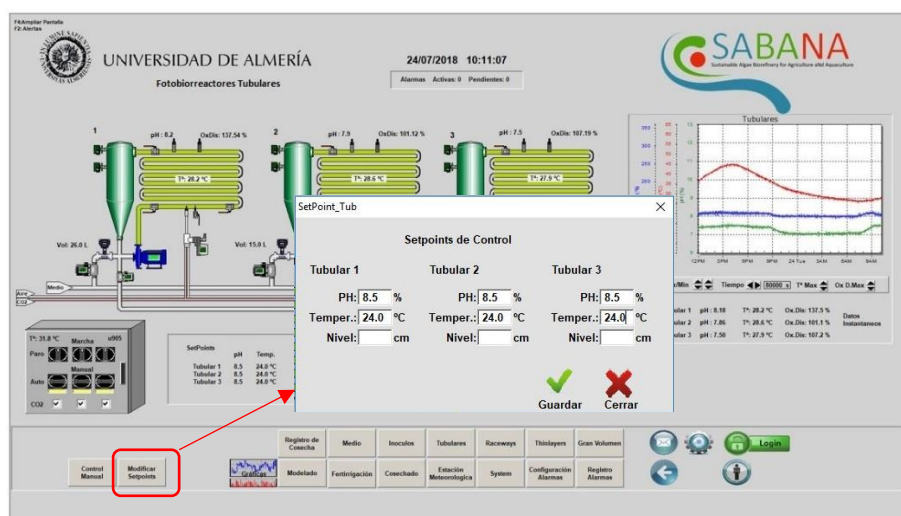


Figura 5.9 Configuración de consignas (Setpoints) para fotobiorreactores tubulares.

El algoritmo de control de pH (Apéndice B.2) comprueba uno a uno cada fotobiorreactor, compara el valor de pH medido con la consigna configurada y mantiene activada la electroválvula en la posición de inyección de CO<sub>2</sub> mientras el nivel de pH se encuentre por encima del valor de consigna. El periodo del ciclo de control sobre todos los fotobiorreactores activos es controlado por un retardo (Delay) de 10s, que evitará aquellos casos que puedan producir conmutaciones demasiado rápidas en las electroválvulas.

La secuencia **control\_pH** implementa una herramienta básica para su utilización durante la puesta en marcha de la planta. Ante la futura utilización de algoritmos de control más complejos, esta secuencia podrá ser utilizada para llamar a las funciones de control PID que ofrece DAQFactory o para introducir mediante código los algoritmos diseñados dentro de la propia secuencia **control\_pH**.

### 5.1.3 Sistema de Fertirrigación

El sistema de fertirrigación se encargará de añadir medio a los diferentes fotobiorreactores y añadir los nutrientes necesarios a dicho medio. El sistema hace uso de los elementos que componen el cabezal de riego, como bombas centrífugas, bombas inyectoras, sondas de nivel y caudalímetros. Además, tendrá control sobre las electroválvulas que permiten la entrada de medio en los fotobiorreactores. Los actuadores del sistema podrán ser activados de forma manual desde el panel **Control Manual** (Ver figura 5.10), accesible desde en el menú auxiliar.

Los interruptores de control manual tienen integrado una secuencia (Quick Sequence) por seguridad, esta impedirá la activación de una bomba si no ha sido abierta antes una electroválvula de la misma línea. Esto ha sido necesario al no contar las líneas con sistemas de seguridad ante sobrepresiones. Puesto que las columnas de inóculos no poseen electroválvulas, sino que son actuadas de forma manual, se ha introducido el interruptor **Válvula Manual de Medio** para indicar que las válvulas han sido abiertas por un operario y el sistema permita activar las bombas.

Las bombas centrífugas de agua están gobernadas de forma analógica por variadores de frecuencia, que a su vez reciben una señal analógica 0-5 V y una señal digital (H/L) para controlar su activación. Por tanto, para actuar las bombas de agua será necesario primeramente activar el variador, seleccionar una consigna para la frecuencia en el selector y como último paso activar el interruptor de la bomba solicitada.

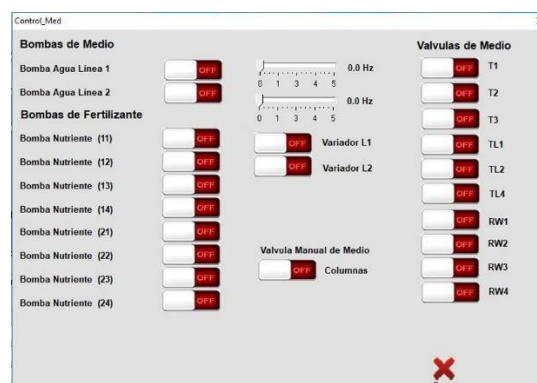


Figura 5.10 Control manual de cabezal de riego.

El proceso de fertirrigación automático es llevado a cabo por la secuencia **Inyección** (Apéndice B.3) y necesitará la configuración de una serie de parámetros desde la pantalla **Fertirrigación** (Ver figura

5.11), por parte de un usuario autorizado. Esta pantalla está pensada para la configuración y prueba del sistema por parte del ingeniero de procesos, mientras que la pantalla de **Medio** será desde donde se use y supervise el sistema por parte de los operarios de planta.

### Pantalla Fertirrigación

El sistema utiliza la información recibida de los caudalímetros instalados en el cabezal de riego para calcular el volumen de medio bombeado, sin embargo, para llevar a cabo la inyección de fertilizante necesitara también los siguientes datos:

- **Concentración Fert.** El sistema utiliza fertilizantes diluidos, por lo que será necesario indicar la concentración de la disolución en la que se encuentra el fertilizante en los tanques.
- **Concentración de Medio.** Es la concentración total de fertilizante que se requiere en el medio de cultivo.

Respecto a las bombas de caudal e inyección será necesario introducir los siguientes parámetros:

- **Tiempo Iny. Mínimo.** Define el tiempo de activación mínimo al que será actuada una bomba inyectora.
- **%Apertura Iny. L1 / L2.** Define el valor de apertura del regulador manual de caudal que poseen las bombas inyectoras de la línea 1 y 2.
- **Coef L1 / L2 / Fert.** Al no utilizarse los caudalímetros a la entrada de los fotobiorreactores el volumen calculado no coincide con el real debido a las perdidas en la línea. Por lo que es necesario utilizar un coeficiente de ajuste para reducir el error entre el volumen teórico y el real que llega al sistema. De igual forma es necesario modelar la inyección de fertilizantes pues las líneas de inyección no poseen caudalímetros.
- **Caudal L1 /L2.** Los valores introducidos en estos apartados serán utilizados como consigna para el caudal suministrado por las bombas centrífugas y para el cálculo de los ciclos de inyección de fertilizantes.

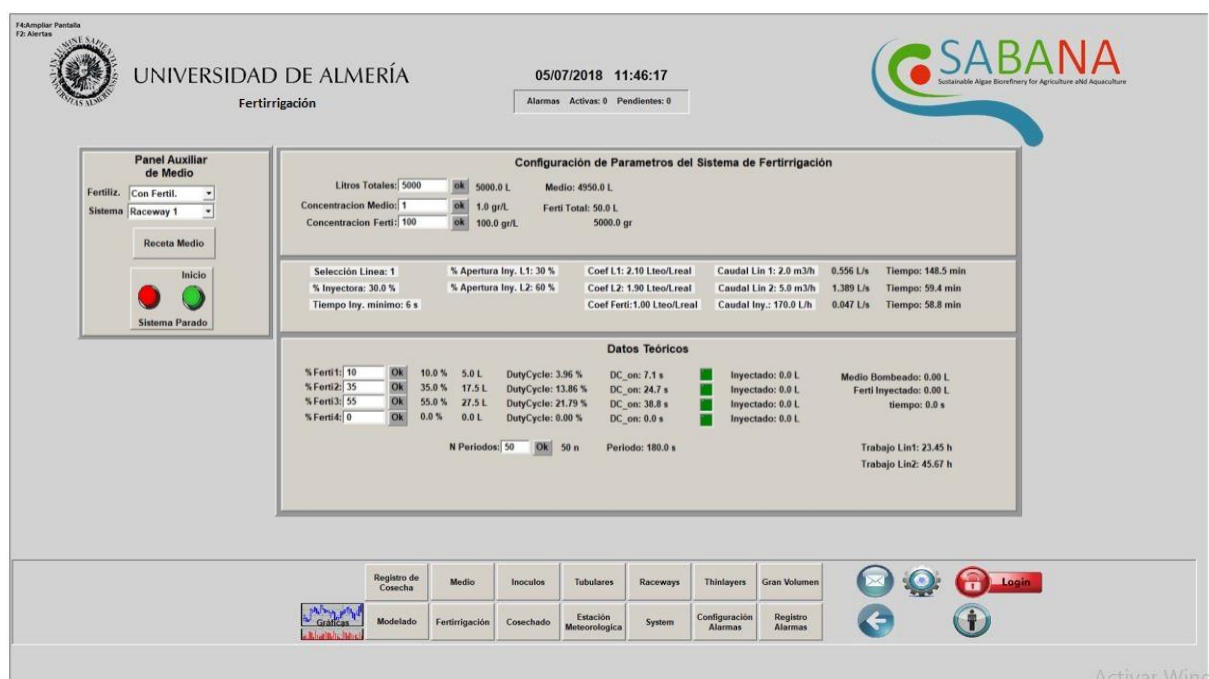


Figura 5.11 Pantalla de configuración de parámetros de fertirrigación.



Una vez introducidos los parámetros de configuración del sistema esta pantalla ofrecerá información sobre el consumo de fertilizantes y medio estimados, el tiempo necesario para bombear el volumen total e incluso información sobre el tiempo de activación de cada bomba inyectora para cada ciclo de inyección. Para ello únicamente será necesario introducir los litros totales demandados, el porcentaje de cada fertilizante o seleccionar una receta desde la opción **Receta Medio** en el panel auxiliar de medio, e introducir el número de periodos o ciclos de inyección en **N periodos**. Este último parámetro NO es usado por la secuencia de inyección, únicamente es utilizado para representar una estimación de la duración del ciclo de trabajo de las bombas inyectoras.

Se podrá realizar ahora una prueba del sistema seleccionado en el panel auxiliar de medio la opción **Con Fertilizante** en el desplegable **Fertilizante**, seleccionando un determinado fotobiorreactor en el desplegable **Sistema** y pulsando en el interruptor verde. Acto seguido en la zona inferior derecha de la pantalla se indican el volumen inyectado de cada fertilizante, los volúmenes totales de medio y fertilizante bombeados y el tiempo transcurrido. Por último, existen dos contadores con el acumulado de horas de trabajo de cada bomba centrífuga para tener en cuenta en tareas de mantenimiento.

### Pantalla Medio

La figura 5.12 muestra la pantalla principal de supervisión del cabezal de riego, accesible desde la opción **Medio** del menú general. Para activar el proceso de fertirrigación deben haber sido configurados los parámetros de la pantalla **Fertirrigación** anteriormente y deben estar seleccionadas las opciones de **Marcha** y **Auto** en los mandos principales. Se podrá pulsar el interruptor verde de activación tras introducir los siguientes parámetros:

- **Agua.** Selecciona el tipo de medio utilizado, agua limpia o agua residual, que definirá el tanque desde el que será extraído el agua. De momento la selección del tanque se realiza mediante válvulas manuales por lo que esta opción no afecta al sistema, pero quedará registrado en los archivos de datos.
- **Fertilizante.** Permite seleccionar entre medio con fertilizante o sin fertilizante. En caso de seleccionar con fertilizante deberá seleccionarse la receta con los porcentajes de fertilizantes que el sistema debe introducir desde la opción “Receta Medio” del menú auxiliar.
- **Sistema.** Selecciona el fotobiorreactor donde será introducido el medio. Esta opción definirá la electroválvula que será activada durante el proceso.
- **Litros Totales.** Permite introducir el volumen total de medio que será bombeado durante el proceso.

El sistema se parará de forma automática una vez alcanzado el volumen total de medio indicado, pero puede pararse el proceso directamente pulsando en interruptor rojo. La secuencia **Inyección** se asegurará de parar todas las bombas y cerrar todas las electroválvulas al finalizar el proceso ya sea de forma automática o forzada.

### Receta Medio

Como herramienta para el sistema de fertirrigación se ha añadido un panel donde crear y guardar en memoria hasta seis recetas de fertilizantes (Ver figura 5.13), al que es posible acceder desde el menú auxiliar de la pantalla **Medio** o la pantalla **Fertirrigación**.

Para la creación de una receta nueva debe introducirse en la primera casilla un identificador, el porcentaje de cada uno de los cuatro fertilizantes posibles y pulsar el botón Crear. En caso de encontrarse las seis recetas completas, deberá de borrarse una de ellas antes de poder introducirse una nueva. Pulsando sobre el botón **Eliminar** se abrirá un nuevo cuadro donde introducir el número de posición de la receta que será eliminada. Para seleccionar la receta a utilizar durante el proceso de fertirrigación, se utilizará la opción **Programar** y se seleccionará el número de la posición de la receta que será utilizada. El identificador de la receta programada quedará indicado en la parte inferior del panel y en la pantalla **Medio** serán indicados tanto el identificador como los porcentajes que serán utilizados.

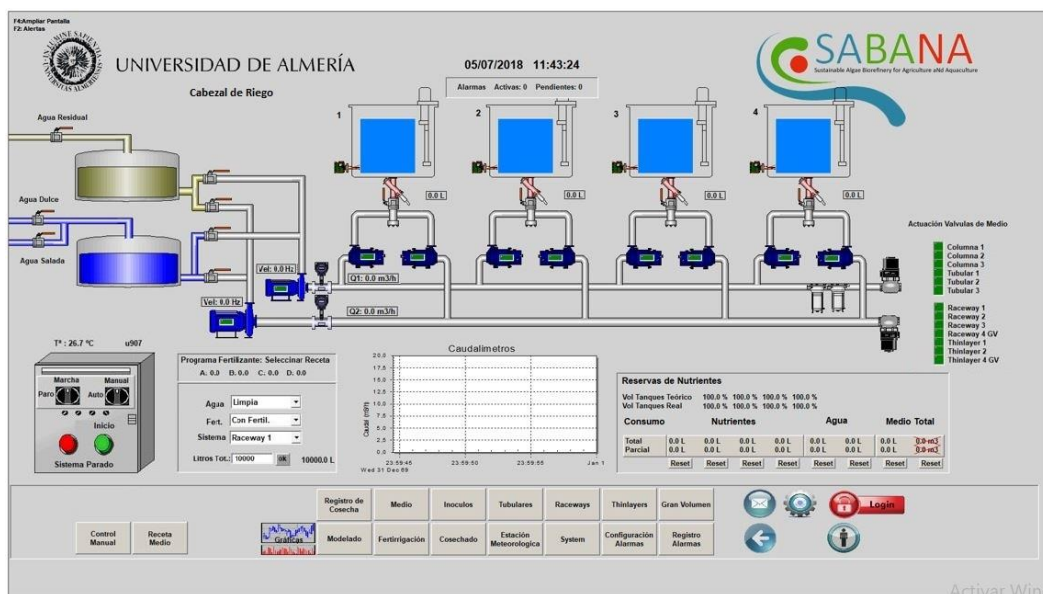


Figura 5.12 Supervisión del proceso de fertirrigación.

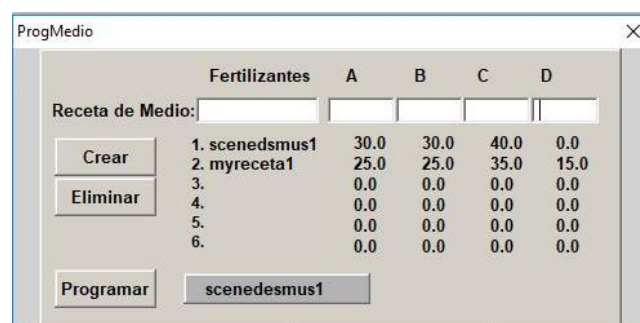


Figura 5.13 Panel de recetas de medio.

### 5.1.4 Sistema de Cosechado

El sistema de cosechado es el encargado de extraer cultivo desde los fotobiorreactores hasta el depósito de cosechado. La automatización de este proceso permite cosechar un volumen de cultivo maduro desde cualquier fotobiorreactor y volver a introducir el mismo volumen de medio con los nutrientes necesarios sin intervención del operario. Además, se ha añadido la función **Evaporación** que permite añadir los litros de medio extra que se pierden por la evaporación diaria. Este volumen extra debe ser modelado previamente por el operario.

El proceso puede funcionar en modo automático o modo manual. En modo automático el proceso se llevará a cabo diariamente, iniciándose a la hora de inicio configurada y finalizando cuando termine de cosechar el último fotobiorreactor o a la hora fin configurada. En modo manual queda desactivada la repetición diaria y el proceso únicamente podrá iniciarse con el interruptor verde **Inicio**. El sistema en modo manual podrá detenerse de forma forzada con el interruptor rojo, pero también se detendrá al terminar el cosechado del último fotobiorreactor o a la hora fin configurada.

La pantalla de **Cosechado** puede ser accedida desde el menú general en cualquier momento y permite configurar los siguientes parámetros (Ver figura 5.14):

- **Selección cosechado.** Mediante checkboxes permite seleccionar los fotobiorreactores que serán cosechados durante el proceso.
- **Orden.** Mediante menús desplegables el sistema permite seleccionar el orden en que serán cosechados los fotobiorreactores. Por seguridad no deben configurarse dos o más sistemas con idéntica prioridad.
- **Litros.** Definirá el volumen de cosecha que desea extraerse de cada fotobiorreactor y también el volumen de medio introducido de nuevo.
- **Evaporación.** Definirá la cantidad de medio extra introducido en un fotobiorreactor debido a procesos de evaporación.
- **Nº Programa.** Permite configurar la receta de nutrientes que será utilizada para añadir tanto el volumen de medio como de evaporación.
- **Hora ini.** Hora en la que será iniciado el proceso diario mientras el sistema este en modo automático. Formato 24 horas.
- **Hora Fin.** Hora máxima que una vez alcanzada finalizara el proceso de forma forzada. Este parámetro permite configurar el cosechado durante las horas diurnas de mayor actividad del cultivo.
- **Coef.** Al igual que los sistemas de bombeo, es necesario modelar el caudal real de las bombas de cosechado pues no se ha implementado aún sistemas de medida para este sistema. Este factor permite al algoritmo calcular el volumen teórico de cultivo cosechado.

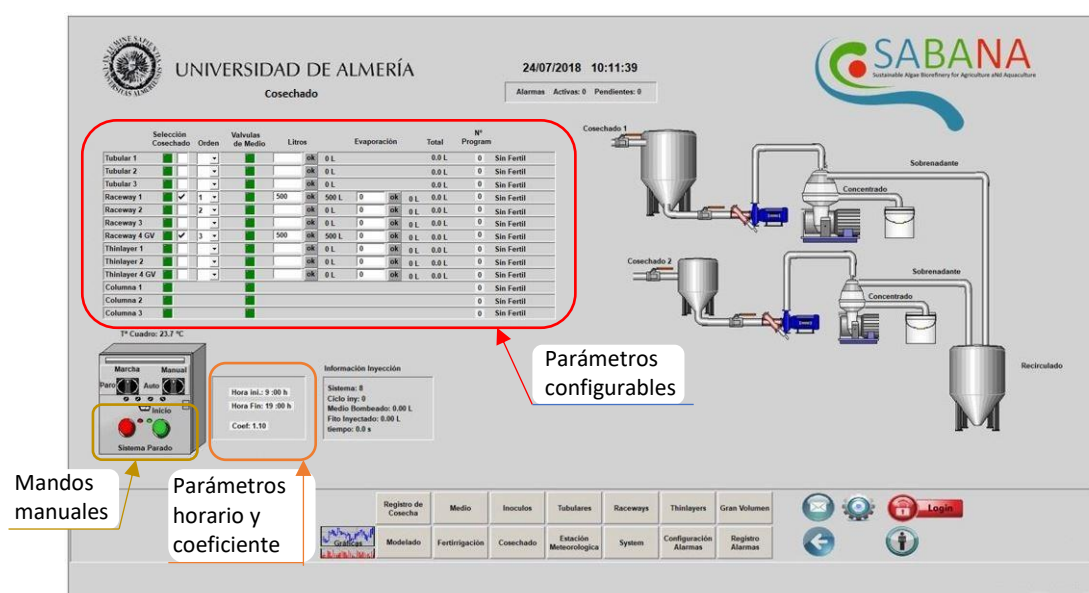


Figura 5.14 Pantalla de cosechado

El proceso de cosechado está controlado por la secuencia **cosechado**. El algoritmo realiza el proceso de cosechado en orden y consecutivamente para los fotobiorreactores seleccionados. Una vez cosecha el primer sistema pasa a cosechar al siguiente sistema y de forma paralela llama a la secuencia **inyección** que será la encargada de introducir en el sistema anterior el volumen previamente cosechado más el extra por evaporación. Realmente son dos procesos que se realizan de forma paralela. La secuencia **cosechado** controlará las bombas sumergidas y la secuencia **inyección** el cabezal de riego y electroválvulas de entrada de medio. En el caso de que el depósito de cosechado alcance su nivel máximo, se activará el interruptor de flotador y el algoritmo detendrá ambos procesos.

Tanto el proceso de cosechado como el de introducción de medio solo podrán llevarse a cabo en aquellos sistema que se encuentren en **Marcha** y modo **Auto**, incluido el cabezal de riego. De esta forma un proceso automático no podrá entrar en conflicto con las ordenes manuales de un operario.

Para la supervisión del proceso de cosechado ha sido dispuestos indicadores led que indican la bomba de cosechado activa y la electroválvula de medio abierta en ese momento, además del volumen teórico cosechado hasta el momento. El cuadro **Información de inyección** ofrece datos sobre el proceso de inyección que está llevándose a cabo, volumen bombeado, duración del proceso y sistema afectado. Estos datos también pueden ser supervisados desde la pantalla de **Medio o Fertilización**.

### 5.1.5 Estación Meteorológica

La planta consta de una estación meteorológica exterior sobre la nave donde se encuentra el cabezal de riego y un segundo grupo de sensores en el interior del invernadero donde se encuentran los fotobiorreactores Raceways y Thinlayers. Los datos meteorológicos recogidos son principalmente utilizados por el equipo investigador por lo que serán registrados junto a los datos recogidos en los sistemas de cultivo para análisis posteriores.

Los datos obtenidos de los sensores instalados podrán ser también utilizados por los diferentes procesos automáticos que tienen lugar en la planta. Como ejemplo, los sistemas de cosechado y control de pH comprueban la radiación solar para evitar su funcionamiento en periodos nocturnos y en un futuro podrán ser implementados controladores sobre el sistema de CO<sub>2</sub> que tengan en cuenta condiciones atmosféricas, lo que permitirá aumentar la eficiencia en el proceso de cultivo de microalgas.

El sistema SCADA presenta un sinóptico en la pantalla principal donde quedan representados todos los sensores que forman parte de la estación meteorológica, desde donde es posible realizar una fácil supervisión de las condiciones medidas (Ver figura 5.15).

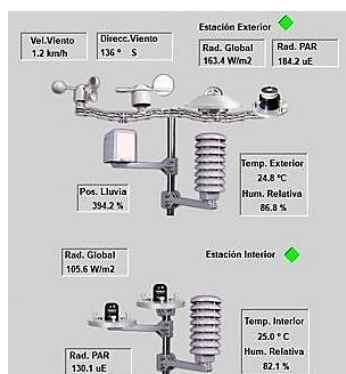


Figura 5.15 Sinóptico de estación meteorológica

Además, se ha añadido una pantalla accesible desde el menú principal, que amplía la información con valores máximos además de permitir graficar uno o varios sensores. En la pantalla **Estación Meteorológica** las medidas son representadas mediante relojes (Ver Figura 5.16), donde la medición actual es indicada por una flecha de gran tamaño de color rojo y el valor máximo, medido durante las últimas 24 horas, es indicado por una flecha de menor tamaño en color azul. En la parte inferior del reloj se encontrará también representado en valor numérico el valor actual.



Figura 5.16 Reloj de medida.

La gráfica incluida en esta pantalla permite representar las variables meteorológicas durante las últimas 24 horas (Ver figura 5.17). Para su uso bastará con marcar las casillas de selección y pulsar el botón actualizar. Al igual que en el resto de las gráficas del sistema SCADA, el color de la variable representada coincidirá con el color del eje de ordenadas.

Para el calibrado de los sensores utilizados DAQFactory dispone del panel **Conversión**, accesible desde el menú Workspace (Apartado 4.3.1 DAQFactory), donde permite introducir la recta de ajuste que será aplicada sobre el valor leído por el sistema, de forma que el valor corregido quede registrado correctamente en los archivos de datos.

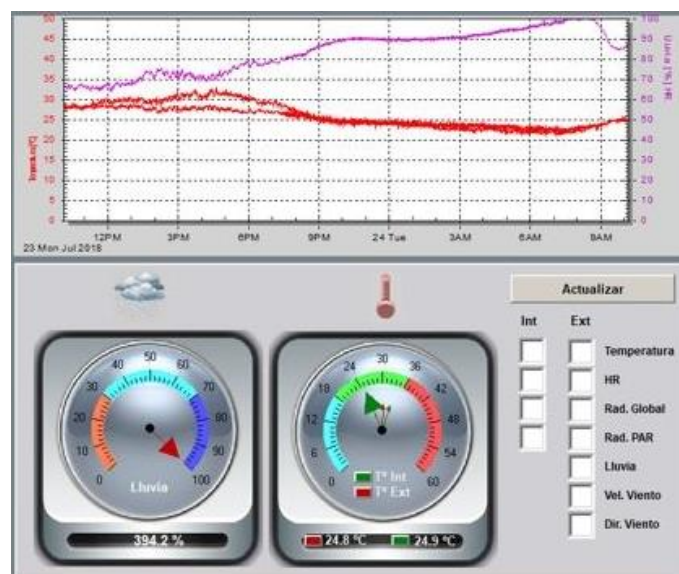


Figura 5.17 Gráfica de estación meteorológica.

### 5.1.6 Sistema de Registro de Datos

Como se ha explicado en el apartado XXX, DAQFactory permite configurar registros del tipo Logging o Export para crear archivos de datos. Para responder a las especificaciones impuestas al proyecto, han sido configurados los siguientes registros:

- Once registros Loggin con los datos diarios de los sensores y actuadores por cada fotobiorreactor. Su identificador responde al formato SabData\_X donde X corresponde al identificador del fotobiorreactor.
- Un registro Loggin con los datos diarios tomados por los sensores de la estación meteorológica, Identificado como SabDataWeather\_fecha.
- Un registro Loggin con todos los sensores y actuadores instalados en la planta, creado mensualmente. Su identificador es SabDatames.
- Un registro Export con los accesos de usuarios al sistema, creado mensualmente. Su identificador es SabAcceso.
- Un registro Export con las modificaciones realiza sobre consignas y parámetros de configuración, creado mensualmente. Su identificador es SabRegConfig.
- Un registro de alarmas es creado automáticamente por DAQFactory como **alarm.dat** desde la sección **Alarms** en el menú **Workspace**.

Las opciones en los paneles de configuración de **Logging** y **Export** no permiten definir la partición de archivos por tiempo, únicamente es posible definir el número máximo de registros en un mismo archivo. Por lo que ha sido necesario implementar las funciones para crear archivos diarios y mensuales a partir de dos secuencias independientes.

La secuencia **Datadia** se encarga de crear un archivo diario para cada uno de los registros Logging indicados en su algoritmo. Este algoritmo comprueba la hora del reloj de sistema y cuando alcanza las 00:00 horas modifica con la nueva fecha el identificador de cada uno de los registros Logging. Esto produce que los nuevos datos recibidos sean guardados en un nuevo archivo, obteniendo así archivos de las últimas 24 horas.

La secuencia **Datames** permite crear archivos mensuales, su funcionamiento es similar a la secuencia Datadia, pero en este caso debe comparar el mes y año de la fecha de sistema. Una vez comienza un nuevo mes el algoritmo modifica con la nueva fecha el identificador de cada registro Logging o Export indicado en el código.

El archivo de alarmas no funciona de igual forma que los registros Logging o Export, por lo que para obtener un nuevo archivo mensual será necesario usar funciones de modificación de archivos. Dentro de la secuencia **Datames** el algoritmo realiza una copia con la nueva fecha del archivo **alarm.dat** en la carpeta indicada y acto seguido borra los datos del archivo original **alarm.dat**. De esta forma cada mes vuelve a sobrescribirse el mismo archivo únicamente con los datos del mes actual y crea un nuevo archivo con los datos del mes finalizado.

En la pantalla **Configuración**, accesible desde el Icono engranaje del menú de sistema, se encuentra el apartado **Archivos** (Ver figura 5.18) desde donde puede definirse la dirección de las carpetas donde serán guardados los archivos de registro. Esta función no puede crear carpetas nuevas por lo que estas deben existir ya de la forma que se indica en la tabla 5.1.

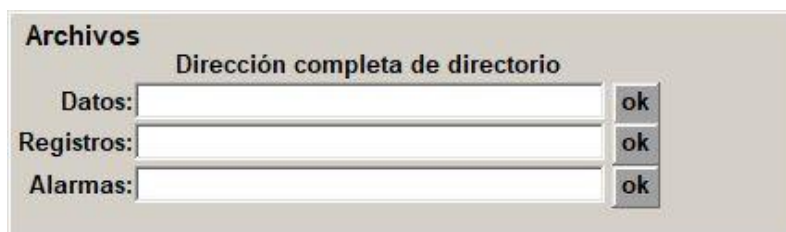


Figura 5.18 Panel Archivos.

Dirección modificable desde panel archivos	Carpeta predefinida en secuencia	Nombres predefinidos para Archivos
C\.....\Datos	Mes	SabDatames_fecha
	RW1	SabDataRW1_fecha
	RW2	SabDataRW2_fecha
	RW3	SabDataRW3_fecha
	RW4	SabDataRW4_fecha
	TL1	SabDataTL1_fecha
	TL2	SabDataTL2_fecha
	TL4	SabDataTL4_fecha
	T1	SabDataT1_fecha
	T2	SabDataT2_fecha
	T3	SabDataT3_fecha
		Columnas
	Weather	SabDataWeather_fecha
C\...\Registros		Sabacceso_fecha SabRegConfig_fecha
C\...\Alarmas		Alarms_fecha.dat

Tabla 5.1 Direcciones preconfiguradas de archivos.

### 5.1.7 Gráfica General

Cada uno de los sistemas que conforman la planta son supervisados en una pantalla diferente, esto permite reducir la densidad de datos en una misma pantalla y facilita la supervisión por parte del operario. Sin embargo, esta distribución complica la comparación de datos entre los diferentes sistemas como puede ser el comparar el pH de determinado fotobiorreactor con la radiación PAR de la estación meteorológica exterior.

Para facilitar un primer análisis y comparación de los datos adquiridos por el sistema SCADA, se ha añadido la pantalla **Gráficas** (Ver figura 5.19). En esta pantalla es posible representar los datos adquiridos las últimas 24 horas por cualquiera de los sensores instalados en la planta. Cabe destacar que el objetivo de esta función es la de comparar los diferentes parámetros que afectan al comportamiento de los cultivos, por lo que no están incluidos datos de actuadores o caudalímetros.

Las variables por representar se presentan en forma de tablas, lo que permite seleccionar por tipo y por sistema donde se encuentra el sensor. En el caso de las variables meteorológicas se diferencian

entre aquellas tomadas en el interior del invernadero y en la estación exterior. Una vez seleccionados las variables a representar será necesario pulsar en el botón **Actualizar** para representar la gráfica. El botón **Borrar Todo** deseleccionará todas las variables y reiniciará la gráfica automáticamente, permitiendo realizar una nueva selección de parámetros desde cero.

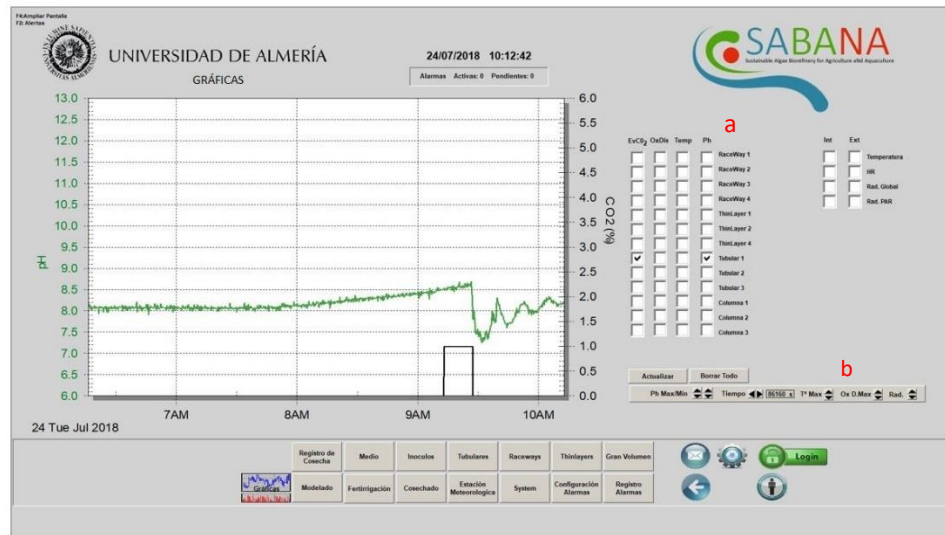


Figura 5.19 Pantalla Gráficas; a) Variables; b) Configuración de gráfica

La representación gráfica consta de las mismas características que el resto de las gráficas representadas en el sistema SCADA. El eje de abscisa representara la variable tiempo y se utilizaran los ejes de coordenadas de derecha e izquierda para presentar los valores de las variables medidas. El color utilizado para representar un determinado tipo de variable coincidirá con el color de los valores y su nombre en el eje de ordenadas. Será posible modificar el rango de valores y tiempo representados en los ejes mediante la barra de configuración.

### 5.1.8 Sistema de Avisos por E-mail

Como medida de seguridad, debido a que la planta no está supervisada 24h al día por un operario, ha sido configura un sistema de aviso por email para las alarmas del sistema SCADA. El sistema se ha implementado mediante un programa que enviara un email a un buzón de correo determinado con un mensaje determinado.

El sistema necesitará ser configurado con una cuenta de correo en la pantalla **configuración de email**, accesible a través del icono **mail** (Ver figura 5.20) y para lo que será necesario tener los permisos adecuados. El destinatario y el mensaje serán configurados durante la llamada a la secuencia **email** por parte de una determinada alarma o función del sistema SCADA. De esta forma el destinatario del email recibirá como mensaje la información necesaria sobre la alarma o función que ha generado el aviso y podrá actuar en consecuencia accediendo al sistema desde un dispositivo remoto.



Figura 5.20 Icono mail.



### 5.1.9 Sistema de Supervisión de Comunicaciones

El software SCADA utilizado, puede llegar a colapsarse debido a fallos durante el intento de comunicación con las tarjetas de adquisición configuradas. Esto producirá el fallo en los actuadores de la planta y la pérdida de datos mientras el sistema no sea reiniciado de forma manual.

Con el objetivo de aumentar la robustez del sistema ha sido implementado un algoritmo de supervisión para la red ethernet. El algoritmo es programado en el propio SCADA y funciona de forma autónoma. Su función es comprobar cada cierto tiempo (ej. 5 min), que cada una de las tarjetas de adquisición responden ante un intento de comunicación. Ante el caso de fallo de comunicación que se prolongue lo suficientemente en el tiempo (ej. 25 min), para descartar errores puntuales, el sistema desactiva el dispositivo afectado dentro del SCADA. En el caso de detectar la comunicación con un dispositivo anteriormente desactivado el sistema volverá a activarlo y permitir su normal funcionamiento en el sistema SCADA.

Este sistema de supervisión no evitará la pérdida de datos y la desactivación de actuadores de los elementos controlados por la tarjeta de adquisición, su objetivo es evitar que un fallo puntual produzca en fallo de toda la planta.

Aunque el sistema funciona de forma autónoma, un operario con permisos de acceso podrá acceder a través de la opción **System** del menú principal a la pantalla **Supervisión de Red Ethernet** (Ver figura 5.21). En esta pantalla será posible supervisar el funcionamiento del sistema y donde se podrán activar o desactivar las tarjetas de adquisición de forma manual. Esta pantalla además ofrece información sobre los últimos errores internos del propio software, que no deben confundirse con las alarmas del sistema SCADA. Estas alertas no quedan registradas en el SCADA, pero pueden ofrecer información ante inestabilidades del sistema si son analizadas en el modo de Diseño pues no son accesible en el modo Runtime. En esta pantalla también quedan reflejados el número de fallos de conexión detectados en los últimos 30 minutos y la actividad de los módulos Labjack UE9.

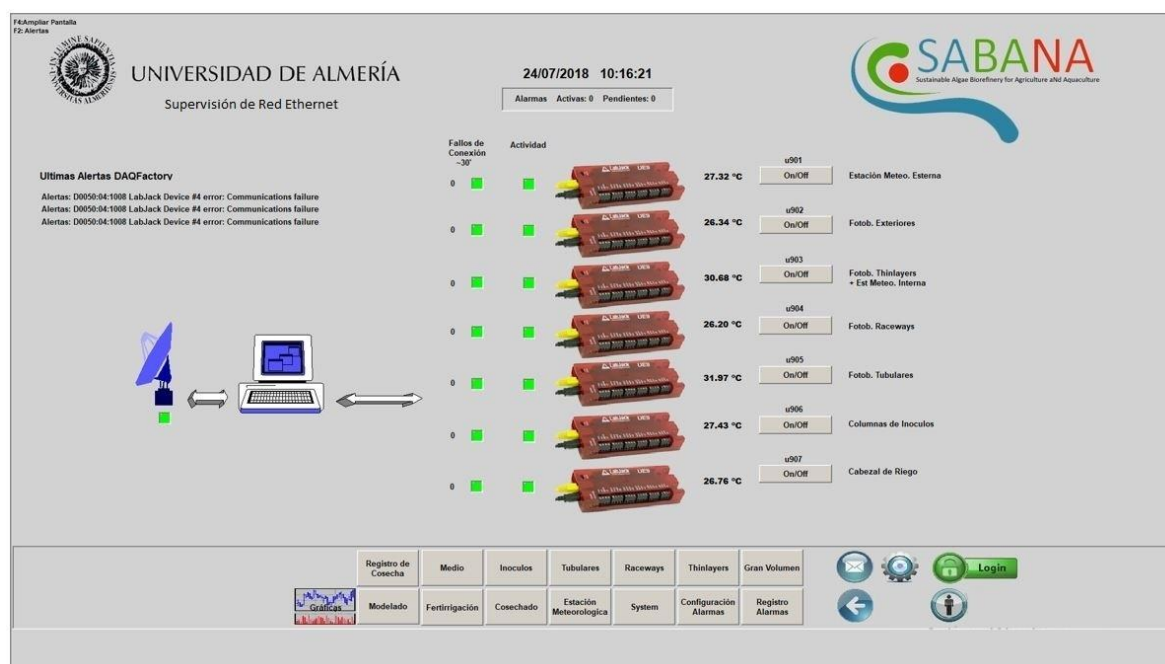


Figura 5.21 Supervisión de red Ethernet.

### 5.1.10 Alarmas

DAQFactory dispone de un área de gestión de alarmas que facilita el proceso de supervisión donde consta el listado con todas las alarmas configuradas y es accesible a través de la opción **Registro Alarmas** del menú general (Ver figura 5.21), de forma que es accesible desde cualquier área del sistema SCADA. El funcionamiento de esta pantalla ha sido ya explicado en el apartado 4.2 DAQFactory.

Debido a los diferentes procesos que se producen en la planta, los cuales no tienen por qué encontrarse todos activos, el sistema de alarmas permite desactivar todas las alarmas de un sistema que se encuentre en modo **Paro** por tanto desconectado. Este sistema evita falsas alarmas durante tareas de mantenimiento. Esto es realizado mediante la secuencia **alarmas** comprobando que los interruptores de selección de un determinado sistema se encuentren en modo **Marcha** antes de disparar una alarma de dicho sistema. En caso de detectarse un evento la secuencia **alarmas** cambia el valor de la variable vinculada a una determinada alarma, y el sistema de gestión de alarmas de DAQFactory dispara la alarma. Esto significa que los parámetros de proceso son procesados por la secuencia **alarmas** en lugar de por el sistema de gestión de alarmas de DAQFactory, esta arquitectura permite una mayor flexibilidad a la hora de configurar el comportamiento del sistema de alarmas.

En la secuencia alarmas se calcula un valor medio con los valores medidos durante 60 segundos y este valor es comparado con los valores introducidos en la pantalla emergente **Configuración de Alarmas**, accesible en todo momento desde el menú general (Ver figura 5.22). Para el acceso a esta pantalla será necesario que el usuario se encuentre registrado con al menos un nivel 2 de privilegios.



Figura 5.22 Botones de acceso a sistema de alarma.

En la pantalla **Configuración de Alarmas** (Ver figura 5.23) podrán introducirse los valores máximos y mínimos para el disparo de alarmas. Las alarmas creadas corresponden con las medidas de pH, temperatura, oxígeno disuelto y nivel de los procesos de cultivo. Los valores configurados se muestran en la etiquetas a la derecha de los espacios habilitados para introducir los nuevos valores. Los nuevos valores únicamente serán configurados al pulsar en la opción **Guardar**.

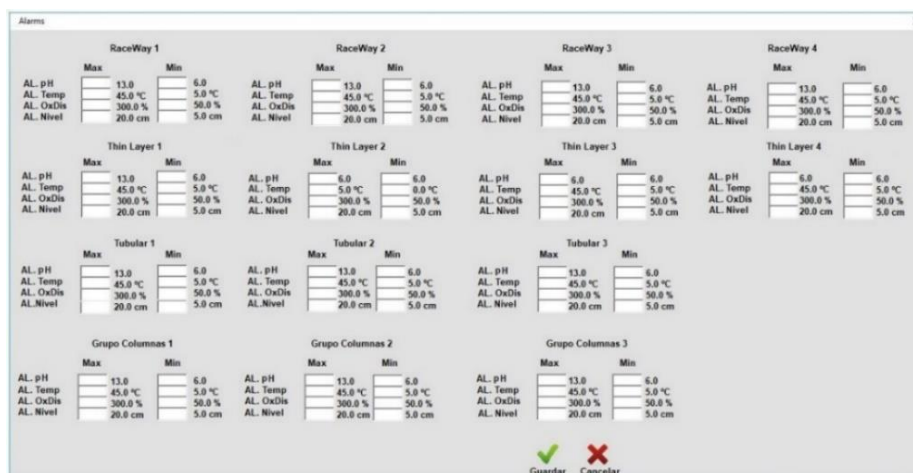


Figura 5.23 Pantalla de configuración de alarmas.

Actualmente no se encuentran instalados sensores capaces de medir la altura del cultivo, únicamente existen alarmas de nivel mediante interruptores de flotador, estos sensores producen señales lógicas por lo que no se encuentran incluidas en esta pantalla. Los valores de Alarma de Nivel H/L han sido previstos para la futura implementación de sensores analógicos.

Para actualizar un nuevo valor en cualquiera de las opciones será necesario primero introducir el valor o valores correspondientes y pulsar la opción **Guardar**. Los valores para la configuración de alarmas admiten un decimal, si se supera simplemente el sistema los ignorara. Esto es debido a la imposibilidad de guardar números decimales en variables Registro de la memoria permanente de Windows. El método utilizado para ello es multiplicar el valor por 10 para guardarlo como registro y dividirlo por el mismo valor en la función que utilice este valor, que en este caso será la secuencia **alarmas**.

Teniendo en cuenta que toda la información sobre las alarmas se encuentra en la pantalla de gestión de alarmas, se ha optado por identificar las alarmas mediante un código numérico que facilita su gestión (Tabla 5.2). El identificador consta de una letra y cuatro valores numéricos que identifican el sistema, la variable y el tipo de alarma (Ver figura 5.24).

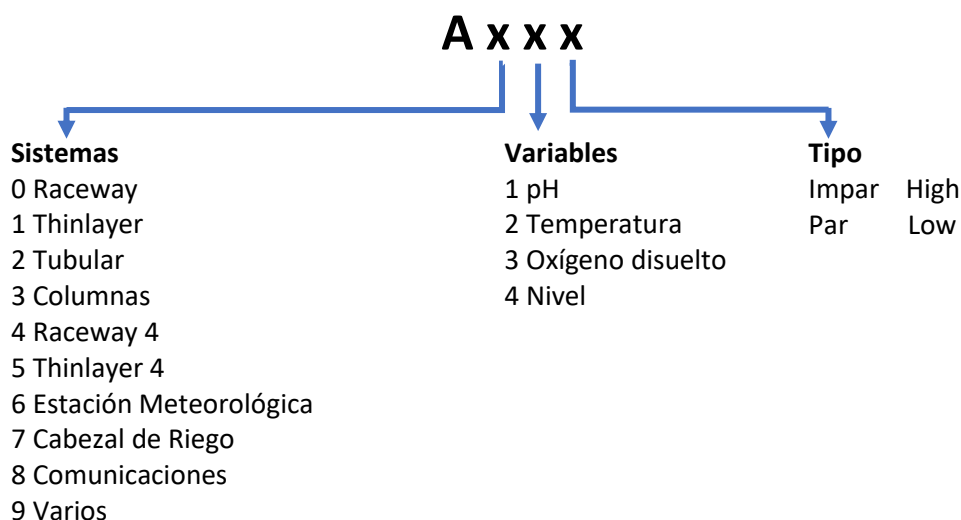


Figura 5.24 Identificación de alarmas.

Alarma	Descripción	Alarma	Descripción
<b>A010</b>	RW1 pH Alto	<b>A030</b>	RW1 Ox. Disuelto Alto
<b>A011</b>	RW1 pH Bajo	<b>A031</b>	RW1 Ox. Disuelto Bajo
<b>A012</b>	RW2 pH Alto	<b>A032</b>	RW2 Ox. Disuelto Alto
<b>A013</b>	RW2 pH Bajo	<b>A033</b>	RW2 Ox. Disuelto Bajo
<b>A014</b>	RW3 pH Alto	<b>A034</b>	RW2 Ox. Disuelto Alto
<b>A015</b>	RW3 pH Bajo	<b>A035</b>	RW3 Ox. Disuelto Bajo
<b>A020</b>	RW1 Temperatura Alta	<b>A040</b>	RW1 Nivel Alto
<b>A021</b>	RW1 Temperatura Baja	<b>A041</b>	RW1 Nivel Bajo
<b>A022</b>	RW2 Temperatura Alta	<b>A042</b>	RW2 Nivel Alto
<b>A023</b>	RW2 Temperatura Baja	<b>A043</b>	RW2 Nivel Bajo
<b>A024</b>	RW3 Temperatura Alta	<b>A044</b>	RW3 Nivel Alto
<b>A025</b>	RW3 Temperatura Baja	<b>A045</b>	RW3 Nivel Bajo

Tabla 5.2 Listado de alarmas.

<b>Alarma</b>	<b>Descripción</b>	<b>Alarma</b>	<b>Descripción</b>
<b>A110</b>	TL1 pH Alto	<b>A234</b>	Tub3 Ox. Disuelto Alto
<b>A111</b>	TL1 pH Bajo	<b>A235</b>	Tub3 Ox. Disuelto Bajo
<b>A112</b>	TL2 pH Alto	<b>A240</b>	Tub1 Int. Nivel max Activo
<b>A113</b>	TL2 pH Bajo	<b>A241</b>	Tub1 Int. Nivel min Activo
<b>A114</b>	TL3 pH Alto	<b>A242</b>	Tub2 Int. Nivel max Activo
<b>A115</b>	TL3 pH Bajo	<b>A243</b>	Tub2 Int. Nivel min Activo
<b>A120</b>	TL1 Temperatura Alta	<b>A244</b>	Tub3 Int. Nivel max Activo
<b>A121</b>	TL1 Temperatura Baja	<b>A245</b>	Tub3 Int. Nivel min Activo
<b>A122</b>	TL2 Temperatura Alta	<b>A310</b>	Col1 pH Alto
<b>A123</b>	TL2 Temperatura Baja	<b>A311</b>	Col1 pH Bajo
<b>A124</b>	TL3 Temperatura Alta	<b>A312</b>	Col2 pH Alto
<b>A125</b>	TL3 Temperatura Baja	<b>A313</b>	Col2 pH Bajo
<b>A130</b>	TL1 Ox. Disuelto Alto	<b>A314</b>	Col3 pH Alto
<b>A131</b>	TL1 Ox. Disuelto Bajo	<b>A315</b>	Col3 pH Bajo
<b>A132</b>	TL2 Ox. Disuelto Alto	<b>A320</b>	Col1 Temperatura Alta
<b>A133</b>	TL2 Ox. Disuelto Bajo	<b>A321</b>	Col1 Temperatura Baja
<b>A134</b>	TL3 Ox. Disuelto Alto	<b>A322</b>	Col2 Temperatura Alta
<b>A135</b>	TL3 Ox. Disuelto Bajo	<b>A323</b>	Col2 Temperatura Baja
<b>A140</b>	TL1 Nivel Alto	<b>A324</b>	Col3 Temperatura Alta
<b>A141</b>	TL1 Nivel Bajo	<b>A325</b>	Col3 Temperatura Baja
<b>A142</b>	TL2 Nivel Alto	<b>A410</b>	RW4 Gr pH Alto
<b>A143</b>	TL2 Nivel Bajo	<b>A411</b>	RW4 Gr pH Bajo
<b>A144</b>	TL3 Nivel Alto	<b>A412</b>	TL4 Gr pH Alto
<b>A145</b>	TL3 Nivel Bajo	<b>A413</b>	TL4 Gr pH Bajo
<b>A210</b>	Tub1 pH Alto	<b>A420</b>	RW4 Gr Temperatura Alta
<b>A211</b>	Tub1 pH Bajo	<b>A421</b>	RW4 Gr Temperatura Baja
<b>A212</b>	Tub2 pH Alto	<b>A422</b>	TL4 Gr Temperatura Alta
<b>A213</b>	Tub2 pH Bajo	<b>A423</b>	TL4 Gr Temperatura Baja
<b>A214</b>	Tub3 pH Alto	<b>A430</b>	RW4 Gr % Ox. Disuelto Alto
<b>A215</b>	Tub3 pH Bajo	<b>A431</b>	RW4 Gr % Ox. Disuelto Bajo
<b>A220</b>	Tub1 Temperatura Alta	<b>A432</b>	TL4 Gr % Ox. Disuelto Alto
<b>A221</b>	Tub1 Temperatura Baja	<b>A433</b>	TL4 Gr % Ox. Disuelto Alto
<b>A222</b>	Tub2 Temperatura Alta	<b>A440</b>	RW4 Gr Nivel Alto
<b>A223</b>	Tub2 Temperatura Baja	<b>A441</b>	RW4 Gr Nivel Bajo
<b>A224</b>	Tub3 Temperatura Alta	<b>A442</b>	TL4 Gr Nivel Alto
<b>A225</b>	Tub3 Temperatura Baja	<b>A443</b>	TL4 Gr Nivel Bajo
<b>A230</b>	Tub1 Ox. Disuelto Alto	<b>A740</b>	Tanque 1 Cosechado Vacío
<b>A231</b>	Tub1 Ox. Disuelto Bajo	<b>A741</b>	Tanque 1 Cosechado Lleno
<b>A232</b>	Tub2 Ox. Disuelto Alto	<b>A742</b>	Tanque 2 Cosechado Vacío
<b>A233</b>	Tub2 Ox. Disuelto Bajo	<b>A743</b>	Tanque 2 Cosechado Lleno

Tabla 5.2 Listado de alarmas (Continuación)

### 5.1.11 Configuración

Ha sido añadida el área de **Configuración** para permitir a técnicos e ingenieros acceder a los principales parámetros de configuración del sistema desde una misma pantalla. Se ha previsto que pueda ser ampliada con nuevos parámetros a medida que sean instaladas nuevas funciones en el sistema. La pantalla de Configuración es accesible desde el icono **Engranaje** del menú de sistema (Ver figura 5.25), y será necesario que el usuario se encuentre registrado con un nivel 3 de privilegios.



Figura 5.25 Icono Engranaje.

Una vez abierta la pantalla tendremos acceso a una serie de parámetros críticos de los diferentes procesos y funciones del sistema (Ver figura 5.26). Los parámetros que pueden ser configurados actualmente desde esta pantalla son:

- **Gestión de recetas de medio:** este panel pertenece al sistema de fertirrigación y puede ser accedido también desde la pantalla de **Medio**. Permite gestionar las recetas de medio.
- **Gestión de dirección de archivos:** permite modificar la dirección donde serán guardados los archivos de registro de datos y alarmas.
- **Datos Gráficas:** configura el rango de valores por defecto en los ejes de coordenadas de todas las gráficas de tendencias al iniciar el sistema SCADA.
- **Control CO<sub>2</sub>:** permite introducir la radiación mínima necesaria para realizar el proceso de control de pH mediante la inyección de CO<sub>2</sub>
- **Válvula-Bomba:** define un tiempo de espera entre activación y paro de válvulas de medio y bombas para evitar golpes de presión en el sistema. El sistema parará primero la bomba y esperará el tiempo de **Delay** para cerrar la válvula de medio y durante el arranque primero activará la válvula y pasado el **Delay** la bomba.

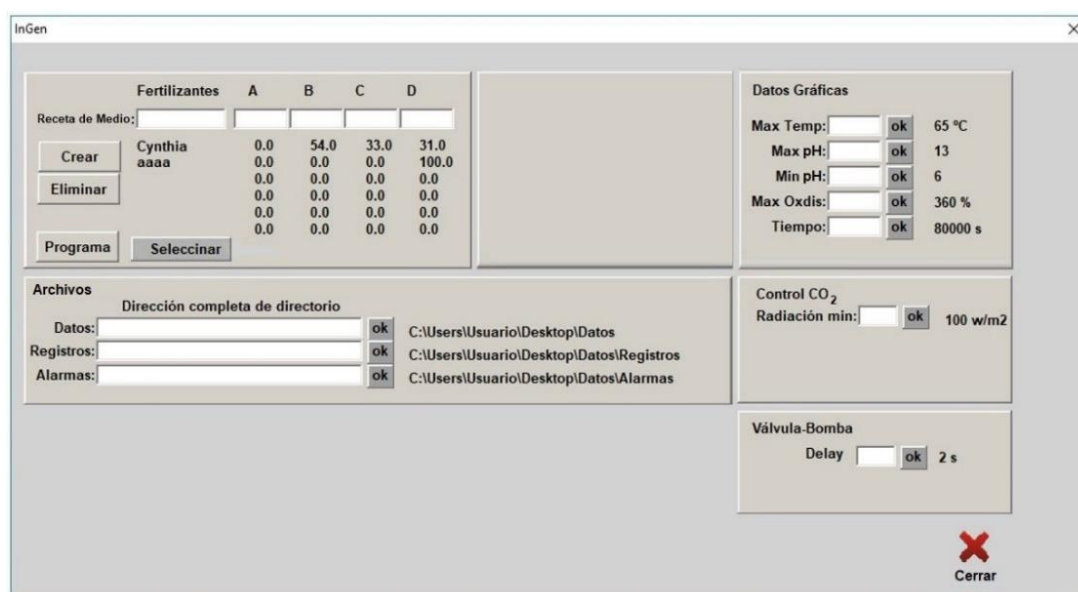


Figura 5.26 Pantalla de configuración de sistema.

### 5.1.12 Control de Acceso a Usuarios

Ha sido implementado un sistema de control de acceso a usuarios que permitirá discriminar el acceso a ciertas áreas y/o controles dependiendo del nivel de privilegios del usuario en cuestión. Para ello será necesario que los usuarios hayan sido introducidos previamente en el sistema y que introduzcan sus datos de acceso mientras trabajan con el sistema SCADA.

La creación o eliminación de usuarios deberá ser llevada a cabo por un usuario con el máximo nivel de privilegios en el sistema. La gestión de estas funciones se llevará a cabo en la pantalla **user\_pass**, accediendo mediante el icono Usuario del menú de sistema (Ver figura 5.27).



Figura 5.27 Icono usuario.

La figura 5.28 muestra la pantalla **user\_pass** donde queda reflejados el número de usuarios actualmente registrados en el sistema y los siguientes parámetros:

- **Nuevo Usuario:** identificador único e intransferible del usuario. La única condición impuesta es que el identificador debe tener al menos 6 caracteres cualquiera.
- **Contraseña:** palabra secreta utilizada por el usuario para su acceso al sistema. La única condición impuesta es que la contraseña debe tener al menos 6 caracteres cualquiera.
- **Nivel de Seguridad:** nivel de prioridad otorgado al usuario. Actualmente el sistema utiliza tres niveles donde el nivel 3 es el que otorga mayores privilegios de acceso.:
  1. Permisos para navegación entre pantallas principales y uso de controles principales de procesos.
  2. Permisos de nivel 1 y permisos para acceso a controles manuales, configuración de consignas (setpoints) y configuración de procesos.
  3. Permisos de nivel 2 y permisos para acceso a gestión de usuarios y pantalla configuración de sistema.
- **Tiempo de Acceso:** tiempo máximo de duración del permiso de acceso. Una vez finalizado el sistema expulsa al usuario automáticamente y este deberá volver a introducir sus datos. Esta función evita que el sistema quede abierto de forma accidental y un usuario no autorizado pueda acceder a funciones sensibles.

La imagen muestra una interfaz de usuario con los siguientes elementos:

- Campo de texto: Nuevo Usuario: [ ]
- Campo de texto: Contraseña: [ ]
- Campo de selección: Nivel Seguridad: [ ] [ 1 - 3 ]
- Indicador: Nº Usuarios Reg.: 2
- Campo de texto: Tiempo de Acceso: [ ] SET 10 min
- Botones: Crear, Eliminar, Acceso

Figura 5.28 Pantalla de gestión de usuarios.

El sistema de control de usuarios consta de 3 procesos principales:

- Creación o eliminación de usuario en el sistema.
- Registro de usuario.
- Control de tiempo de acceso.

Para la creación de un usuario nuevo bastara pulsar la opción **Crear** tras introducir los parámetros de **Nuevo Usuario, Contraseña y Nivel de Seguridad**. El algoritmo comprobará que el identificador de usuario no esté repetido y que la longitud de identificador y contraseña sean superior a 6 caracteres. Para la eliminación de un usuario existente únicamente es necesario introducir el identificador de usuario y pulsar la opción **Eliminar**.

Para tener acceso a determinadas áreas el usuario debe encontrarse registrado (Login), para ello bastara con pulsar la opción **Login** del menú de sistema. Una vez pulsado aparecerá una pantalla emergente donde deberán introducirse el nombre de usuario y contraseña. Si los datos son correctos el sistema permitirá el acceso y el icono cambiará a color naranja o verde dependiendo del nivel de privilegios que tenga el usuario (Ver tabla 5.29). Además, será activada la secuencia **user\_control**, esta secuencia controlará el tiempo de acceso y una vez excedido expulsará al usuario y volverá al color rojo. Un usuario puede salir del sistema de forma manual volviendo a pulsar la opción **Login**, en este caso el sistema no volverá a pedir datos.



a. Usuario no registrado

b. Usuario nivel 1-2

c. Usuario nivel 3

Figura 5.29 Icono Login.

La restricción del acceso se realiza mediante secuencias rápidas programadas en los botones y menús que dan acceso a áreas o actuadores. Cada vez que el usuario pulsa sobre el objeto en cuestión el algoritmo comprueba el nivel de privilegios del usuario registrado, permitiendo el acceso al área o función solicitada o lanzando un aviso informando sobre la falta de permisos (Ver figura 5.30).



Figura 5.30 Acceso no permitido.

Todos las actuaciones realizadas por el sistema de control de usuarios son registradas en un archivo de registro. El sistema registrará fecha, usuario y acción realizada o área accedida, inclusive intentos de registro fallidos lo que permitirá a un supervisor analizar el uso del sistema por parte de todos los usuarios.

## 5.2 Puesta en Marcha

El primer paso para la puesta en marcha del sistema ha sido la instalación del software SCADA en el PC principal y su conexión a la red de la planta. El equipo se encuentra instalado en el laboratorio del centro IFAPA y consta de un monitor de 27" desde donde los operarios realizarán el control de todos los elementos de la planta.

En un segundo paso se realizará la configuración de red de cada uno de los módulos Labjack UE9 mediante su conexión USB y el software LJControlPanel. Configurando sus direcciones IP estáticas dentro del rango de la dirección LAN, que ha sido configurada previamente en el PC principal. Una vez configurados todos los elementos de la red, deben añadirse al sistema SCADA accediendo a la pantalla de configuración de dispositivos (Device Configuration), como ha sido explicado en la sección de configuración de dispositivos I/O (Apartado 4.2.1.2).

Una vez que existe comunicación entre el sistema y las unidades remotas se comprobarán el correcto funcionamiento de sensores y actuadores realizando un proceso de prueba para cada uno de los elementos y procesos automatizados (Ver tabla 5.3).

El último paso del proceso de puesta en marcha ha sido la explicación del sistema SCADA a los operarios de la planta. Se ha formado al personal sobre la navegación a través de la arquitectura de pantallas, el funcionamiento de las diferentes pantallas para supervisión y control de los sistemas, así como la utilización y configuración de los procesos automáticos. Una vez los operarios se han familiarizado con la herramienta SCADA y la planta ha comenzado a funcionar se da por acabado el proceso de puesta en marcha.

<b>Fotobiorreactores</b>	
<b>Sensores de cultivo y meteorológicos</b>	Comprobar valores leídos por el sistema y comparar con valores reales. Configurar rectas de calibración y conversiones para las señales analógicas.
<b>Electroválvulas</b>	Activar desde el sistema mediante los controles manuales cada una de las electroválvulas de medio, aire y CO <sub>2</sub> para comprobar su correcto funcionamiento. Comprobar que el elemento activado es correctamente indicado en el sistema.
<b>Variadores de frecuencia</b>	Comprobar la correspondencia entre la señal de control indicada en el sistema y la señal de salida de los variadores de frecuencia.
<b>Bombas de recirculado</b>	Activación de bombas desde el sistema y ajuste del caudal idóneo para el sistema. Comprobar que el elemento activado es correctamente indicado en el sistema.
<b>Bombas de cosechado</b>	Prueba de la activación de las bombas desde el sistema y su sistema de seguridad por boya. Comprobar que el elemento activado es correctamente indicado en el sistema.
<b>Ruedas de paletas</b>	Activación de los motorreductores desde el sistema y modelado de la velocidad de giro en carga. Comprobar que el elemento activado y su velocidad se encuentran correctamente indicado en el sistema.

Tabla 5.3 Proceso de prueba de actuadores y procesos automáticos.



<b>Cabezal de Riego</b>	
<b>Bombas centrífugas</b>	Activación de bombas desde el sistema y modelado del rango de caudales obtenidos en la planta. Comprobar que el elemento activado es correctamente indicado en el sistema.
<b>Bombas inyectoras</b>	Activación de bombas desde el sistema y modelado del caudal real inyectado. Comprobar que el elemento activado es correctamente indicado en el sistema.
<b>Caudalímetros</b>	Comprobar que el caudal leído en el sistema corresponde con el indicado en el caudalímetro magnético y configurar recta de ajuste si es necesario.
<b>Interruptores de flotador</b>	Comprobar de forma manual que la activación de los elementos de nivel es detectada e indicada por el sistema.
<b>Procesos Automatizados</b>	
<b>Fertirrigación Y Cosechado</b>	Comprobar que los elementos activados de forma automática corresponden con los parámetros configurados. Comprobar que el sistema asegura la desactivación de todos los actuadores una vez finalizado de forma automática o forzada. Comprobar que los volúmenes de medio y nutrientes obtenidos coinciden con los configurados por el usuario. Comprobar la correcta indicación del proceso en el sistema.
<b>Procesos Automáticos</b>	
<b>Bombas de recirculado Y Ruedas de paletas</b>	Comprobar que el funcionamiento de los actuadores en automático corresponde con las consignas configuradas. Comprobar el correcto funcionamiento de los actuadores ante cambios de consignas durante su funcionamiento.
<b>Control de pH</b>	Comprobar que los elementos activados de forma automática corresponden con los parámetros configurados. Comprobar que el sistema asegura la desactivación de todos los actuadores una vez finalizado de forma automática o forzada. Comprobar que el funcionamiento del sistema corresponde con las consignas configuradas. Comprobar la correcta indicación del proceso en el sistema.
<b>Alarmas</b>	
<b>Señales analógicas</b>	Comprobar que las señales fuera del rango configurado disparan la alarma correspondiente al evento. Comprobar la correcta indicación del proceso en el sistema, también una vez desaparecido el evento.
<b>Sensor de nivel</b>	Comprobar que la activación de los interruptores de flotador dispara la alarma correspondiente. Comprobar la correcta indicación del proceso en el sistema, también una vez desaparecido el evento.

Tabla 5.3 Proceso de prueba de actuadores y procesos automáticos (Continuación).

### 5.3 Evaluación de la Herramienta SCADA por los Supervisores de la Planta

Siguiendo las indicaciones de la guía GEDIS ha sido realizada una evaluación cuantitativa por cada uno de los operarios que tienen acceso al sistema SCADA, de esta forma podremos obtener una valoración general teniendo en cuenta las valoraciones de diferentes tipos de usuario y tener una visión amplia de los objetivos alcanzados y de aquellos elementos susceptibles de ser mejorados. En la tabla 5.4 queda representado la valoración media entre las valoraciones realizadas. La valoración alcanzado un valor medio más que aceptable de 4.36, lo que indica que la visión general de los operarios ha sido muy buena independientemente de que existan características que puedan ser mejoradas.

Los principales puntos fuertes destacados por el personal han sido los relacionados con fácil navegación entre cada una de las áreas, mediante el uso de los menús que son accesibles en todo momento. Una baja densidad de elementos en cada una de las pantallas y diseños sencillos pero cercanos a la realidad de cada uno de los fotobiorreactores han sido muy bien valorados, además se ha destacado la consistencia en los colores, tipo de indicadores y texto utilizado en todas las pantallas del sistema. Otra de las características altamente valoradas ha sido la representación de datos mediante graficas que ofrece información rápida sobre el comportamiento de los sistemas supervisados. Todas estas características se encontraban entre los objetivos y especificaciones del proyecto por lo que ante los resultados de las valoraciones según la guía Gedis, puede decirse que los resultados han cumplido los objetivos marcados.

Como parte del proceso de evaluación, algunas de las sugerencias aportadas por los operarios y que servirán como base para futuras modificaciones han sido:

- Puesto que en el proyecto SABANA toman parte equipos investigadores de ámbito europeo, conviene la traducción de etiquetas y menús al idioma inglés, lo que será realizado durante las futuras tareas de mantenimiento.
- Algunos usuarios prefieren los mandos de control manual cerca del elemento a accionar por ser más intuitivo, en lugar de utilizar una pantalla emergente. A pesar de ello el formato de pantalla emergente ha sido utilizado para facilitar el control de acceso a usuarios.
- La ventana de alarmas no indica en forma de texto información sobre las alarmas activas. Esto se tuvo en cuenta desde el principio, pero el sistema de gestión de alarmas de DAQFactory no permite de forma sencilla extraer la información para mostrarla en paneles de texto. Sin embargo, toda la información se obtiene entrando con un solo clic en la pantalla de gestión de alarmas.
- Existe una alta densidad de color e iconos en la pantalla de supervisión de la estación meteorológica, debido al uso de indicadores de tipo reloj. Esto podrá ser corregido fácilmente cambiando los iconos de representación por elementos mas sencillos como simples etiquetas.
- Los parámetros del mismo tipo en la gráfica general comparten el mismo color y puede ser confuso conocer el elemento de donde proviene cada variable. Se recomienda crear una leyenda dinámica que designe a cada variable un color único durante su representación.
- El algoritmo de fertirrigación resulta complejo y contiene demasiados parámetros ante la posibilidad de futuras ampliaciones o modificaciones por personal que no esté familiarizado con su diseño.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Comentario</b>
<b>1. Arquitectura</b>		
1.1. Existencia de mapa	5	
1.2. Número de Niveles	5	
1.3. División: planta, área, subárea, equipo	4	
<b>2. Distribución</b>		
2.1. Comparación con Modelo	5	
2.2. Flujo de proceso	3	Procesos automáticos no muy claros.
2.3. Densidad	4	
<b>3. Navegación</b>		
3.1. Correspondencia c/arquitectura	5	
3.2. Accesibilidad	5	Menús accesibles desde cualquier pantalla.
3.3. Consistencia	5	
<b>4. Color</b>		
4.1. Ausencia combinaciones no apropiadas	5	
4.2. Número de colores	2.5	Alguna pantalla con demasiada variedad.
4.3. Ausencia de intermitencia (sin alarma)	5	
4.4. Uso de colores típicos (rojo, verde, amarillo)	5	
4.5. Relación con texto	3	Pocos casos de color y texto relacionados.
<b>5. Texto</b>		
5.1. Número de fuentes	5	
5.2. Ausencia fuentes pequeñas (mínimo 8)	5	
5.3. Ausencia de combinaciones inapropiadas	5	
5.4. Uso de abreviaciones	4	
5.5. Coloración del texto	5	
<b>6. Estado de los Dispositivos</b>		
6.1. Símbolos e Iconos uniformes	4	
6.2. Representación del estado del equipo	5	
<b>7. Valores de proceso</b>		
7.1. Visibilidad	5	
7.2. Localización	4	En algunas pantallas cambia localización.
<b>8. Gráficos y Tablas</b>		
8.1. Formato	5	
8.2. Visibilidad	3	
8.3. Localización	5	
8.4. Agrupación	3	Podrían agruparse más algunas etiquetas.
<b>9. Comandos de entrada de datos</b>		
9.1. Visibilidad	5	
9.2. Uso	4	Varias formas de entrada de datos.
9.3. Retroalimentación	5	

Tabla 5.4 Formulario guía Gedis.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Comentario</b>
<b>10. Alarmas</b>		
10.1. Visibilidad de la ventana de alarmas	5	
10.2. Localización de la ventana de alarmas	5	Zona superior y siempre visible
10.3. Conocimiento de la situación	3	
10.4. Agrupamiento de alarmas	3	
10.5. Información al operario	3	Necesario entrar en pantalla de alarmas.
<b>Evaluación global</b>	<b>4.36</b>	

Tabla 5.4 Formulario guía Gedis (Continuación).



## 6. CONCLUSIONES

La creación de un sistema SCADA para una planta de cultivo de microalgas de nueva construcción y dentro de un proyecto europeo de gran importancia, ha resultado un gran reto y ha requerido una gran dedicación. Aun no teniendo una referencia o un sistema anterior sobre el que trabajar, las tareas realizadas junto al personal encargado de la instalación han dado como resultado un sistema SCADA en el que se ha conseguido hacer frente a la mayor parte de los objetivos marcados al inicio de este proyecto.

Algunas de las conclusiones alcanzadas durante la realización del proyecto y que han servido para hacer frente a los objetivos de este, han sido:

- En plantas complejas donde independientemente del tamaño existan diferentes procesos y elementos, es de gran utilidad el dividir el SCADA en subplantas lo que facilita la supervisión y el poder mantener una interfaz más clara y amigable con un entorno gráfico de pocos niveles que ofrezca una navegación muy sencilla.
- El cumplir la normativa sobre trabajos con pantallas de visualización de datos ofrece resultados altamente satisfactorios fácilmente contrastables por los operarios. No obstante debe tenerse en cuenta el trasfondo y opinión de los propios operarios para la elección de los estándares de identificación y símbolos de elementos. Para el diseño de los sinópticos del sistema se ha optado por iconos gráficos, que aportan la suficiente información para el personal investigador, en lugar de una simbología ISA con la que un ingeniero de procesos se hubiera sentido más cómodo.
- La implementación de un sistema de privilegios para usuarios en un software sencillo como DAQFactory complica el diseño del sistema e incluso el de futuras ampliaciones, pero la seguridad aportada al sistema y al funcionamiento de la planta compensa el tiempo invertido por lo que es una función totalmente recomendable sino obligada.
- Durante la puesta en marcha del sistema han sido detectados diferentes problemas provenientes del diseño de la planta y como parte de la fase de puesta en marcha ha sido resueltos en la medida de lo posible a través del software para aumentar la robustez del sistema. Esto se ha traducido en un aumento en la complejidad de la herramienta y un mayor número horas de trabajo cuando algunas soluciones podrían haberse alcanzado actuando sobre el diseño de la planta con un menor coste. No obstante fruto de estas necesidad se han obtenido funciones que podrían ser fácilmente implementadas en proyectos futuros.
- DAQFactory es un software potente principalmente que facilita el diseño y la operación de sistemas SCADA sencillos. En el momento que se ha requerido implementar una serie de funciones determinadas por las especificaciones, ha sido necesario profundizar en el lenguaje de programación del software para explotar todas sus posibilidades. Durante el desarrollo han sido encontrados pequeños problemas que han sido resueltos sobre la marcha mediante tiempo y paciencia. El simple hecho de guardar datos permanentes con decimales ya ha supuesto implementar algoritmos en cada etiqueta usada para el caso. El uso de funciones especiales para utilizar características de los módulos Labjack desde DAQFactory y conseguir un sistema de registro de datos y creación de archivos adecuado han supuesto la búsqueda de soluciones más o menos complejas para problemas inicialmente sencillos.
- Los módulos Labjack han ofrecido una solución satisfactoria debido principalmente a un coste económico relativamente bajo respecto a la cantidad de entradas y salidas tanto digitales como

analógicas capaces controlar. Cabe destacar que aún pareciendo dispositivos sencillos de conectar y listo, es de gran necesidad la formación del personal sobre el software de configuración LJControlPanel para su correcto funcionamiento, y profundizar en su lenguaje de programación embebido para conseguir explotar al máximo sus funciones y accesorios LJStick.

Para un trabajo de tal envergadura el resultado ha sido más que satisfactorio teniendo en cuenta la calificación media alcanzada según la guía GEDIS. Aun así, muchas características del sistema pueden ser mejoradas en trabajos futuros. Algunas de las posibles modificaciones podrían ser:

- Introducir un mayor número de eventos en el sistema de alarmas, pues durante este trabajo únicamente han sido introducidas alarmas relacionadas con parámetros medidos en los cultivos.
- Mejorar la representación gráfica de los procesos como el cosechado o añadir movimiento a algunos de los elementos de los sinópticos.
- Mejorar la representación de la gráfica general con una leyenda activa que permita utilizar una paleta con mayor número de colores.
- Mejorar la creación de informes diarios con los datos recogidos de forma manual por los operarios.
- Implementar controladores PID para el control de las bombas de caudal.

Con los conocimientos sobre la programación en DAQFactory adquiridos durante la realización de este trabajo es posible realizar todas estas mejoras y añadir funciones que aumenten la robustez del sistema. Además, la ampliación de conocimientos sobre los dispositivos Labjack permitirá sacar el máximo partido a sus funciones en futuros proyectos. Por tanto, se considera que los resultados han sido ampliamente satisfactorios tanto desde el punto de vista de la herramienta resultante, como por los conocimientos adquiridos sobre el software y los equipos para aplicar en futuras aplicaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Universidad de Almería, “Sustainable Algae Biorefinery for Agriculture aNd Aquaculture,” 2nd e-bulletin, Noviembre 2017. [Online]. Disponible en: <http://www.eu-sabana.eu/>
- [2] T. Lafarga, “Aspectos Prácticos de la producción de Microalgas: Objetivos y Necesidades,” Trabajo de Fin de Master, Universidad de Almería, 2012.
- [3] P. Soriano, “Planta Demostración de depuración de aguas residuales con Microalgas,” Trabajo Fin de Grado, Universidad de Almería, 2014.
- [4] European Commission, Maritime Forum, “Blue Growth Study, Scenarios and drivers for Sustainable Growth from the Oceans, Seas and Coasts,” Agosto 2012. [Online]. Disponible en: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/node/2946>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [5] Azeotech Inc., “FAQFactory Users Guide”, [Online]. Disponible en: <https://www.azeotech.com>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [6] Labjack, “Labjack Hardware”, UE9 Datasheet, 2012. [Revisado Junio 2018].
- [7] A. Rodríguez, “Sistemas SCADA”, 3th ed., Barcelona, España: Marcombo, 2012.
- [8] Personal Técnico Proyecto SABANA, *Documentación Técnica Proyecto SABANA*, Universidad de Almería, 2017.
- [9] Astralpool, “Turbosoplantes”, 35388-2450 Datasheet, 2013, [Online], [https://gestor-doc-s3.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/category/FTE12\\_35387\\_AP\\_v02-2013-.pdf](https://gestor-doc-s3.s3.eu-west-1.amazonaws.com/documents/category/FTE12_35387_AP_v02-2013-.pdf). [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [10] J. Sánchez, “Modelado Híbrido de un Sistema de Calefacción basado en Biomasa para el Enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en Invernaderos”, Trabajo Fin de Master, Universidad de Almería, 2014.
- [11] C. Sans, “Aplicación del Ozono para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas”, en *I Jornada Técnica sobre Procesos de Oxidación Avanzada en el Ciclo Integral del Agua*, Castelló de la Plana, 2016.
- [12] Ozotech, “Ozone Generator”, PCS-Pro Technical Bulletin, 2016, [Online] <http://ozotech.com/wp-content/uploads/2017/06/PCS-PRO-Tech-Sheet-v5.pdf> [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [13] GEA Westfalia Separator, “Centrifugal Separator”, TD\_WS-16-08 -0061 EN Datasheet, 2016, [Online], [https://www.gea.com/es/binaries/TD-MA-OSE%20centrifugal%20separator-2012-06-EN\\_tcm25-23439.pdf](https://www.gea.com/es/binaries/TD-MA-OSE%20centrifugal%20separator-2012-06-EN_tcm25-23439.pdf). [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [14] JUMO Instrument, “Electromagnetic Flowmeter”, MAG S01 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [15] Vaisala, “Tecnología de Medición Dióxido de Carbono”, Artículo Técnico, 2013, [Online]. Disponible en: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-G-Carbocap-Technology-description-B210780ES-C.pdf>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [16] JUMO Instrument, “Análisis de pH en Líquidos”, Aquis500 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [17] Hanna Instruments, “Medición del Oxígeno Disuelto”, Artículo técnico, 2018, [Online]. Disponible en: <http://www.hannainst.es/blog/medicion-del-oxigeno-disuelto/>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [18] JUMO Instrument, “Medición del Oxígeno Disuelto”, dTrans O2 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [19] Apogee Instruments, “Pyranometers”, SP110 Datasheet, 2018, [Online] <https://www.apogeeinstruments.com/pyranometer/>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [20] Campbell Scientific, “Pyranometer Sensor”, CM6b & CM11 User Guide, 2001, [Revisado Junio 2018].
- [21] Apogee Instruments, “Quantum Sensor”, SQ110 Datasheet, 2018, [Online]. Disponible en: <https://www.apogeeinstruments.com/sq-110-ss-sun-calibration-quantum-sensor/>. [Ultima Visita Junio 2018].
- [22] Skye Instruments, “PAR Energy Sensor”, SKE 510 Datasheet, [Online]. Disponible en: <https://www.skyeinstruments.com/applications/commercial-horticulture/light-sensors-systems-commercial-horticulture/par-quantum-sensors/>. [Ultima Visita Junio 2018].



- [23] Delta OHM, "Temperature And Humidity Transmitters", HD 9008TTR datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [24] Asociación Española de Normalización, "Redes de estaciones Meteorológicas Automáticas", UNE 500520:2002, 27 Junio, 2002.
- [25] Delta OHM, "Detector de lluvia", HD 2013.2 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [26] Adolf Thies, "Wind Transmitter", Thies Clima 3400 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [27] Adolf Thies, "Wind Direction Transmitter", Thies Clima 3124 Datasheet, [Revisado Junio 2018].
- [28] Euro-Rain, "Electrovalvula de riego", 8301BPNC24AC Electroválvula de Baja Presión. [Online]. Disponible en: [www.Euro-Rain.es](http://www.Euro-Rain.es). [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [29] Samson, "Electronic Actuator", T 8331 EN Datasheet, 2018. [Online]. Disponible en: <https://www.samson.de/document/t83310en.pdf> [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [30] Fuji Electric, "Inverter", CEN-AS1SEN18.01 24A1 Datasheet, [Revisado Noviembre 2018].
- [31] Astral Pool, "Pool Pumps", Victoria Plus Manual, [Revisado Noviembre 2018].
- [32] SEKO, "Dosing Pumps", Spring PS1 Series Brochure, 2018, [Revisado Noviembre 2018].
- [33] Power Pumps, "Submersible Pump", POW 6782 Dirty Water, [Revisado Noviembre 2018].
- [34] Transtecno, "Wormgearmotors", CM-CMP ALU Catalogue, 2018, [Revisado Junio 2018].
- [35] AENOR, "Normativas UNE e ISO", [Online]. Disponible en: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>. [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [36] P. Ponsa, M. Díaz, A. Catalá, "Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión", (2006)
- [37] International Society of Automation, "ISA Standards", [Online]. Disponible en: <https://www.isa.org/>. [Ultima Visita Noviembre 2018].
- [38] P. Ponsa, B. Amante, M. Díaz, "Evaluación de la Usabilidad para la Tarea de Supervisión Humana en Sala de Control Industrial". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Vol. 6, Núm. 1, pp.84-93, Enero 2009.
- [39] International Society of Automation, "ANSI/ISA-88.00.01-2010 Batch Control, 2010
- [40] A. Hernandez-Perez, J. Labbe, "Microalgas, Cultivo y Beneficios". *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 49, Num. 2, pp.157-173, Agosto 2014.
- [41] R. Dorf, R. Bishop, "Sistemas de Control Moderno", 10th ed., Madrid, España: Pearson Educación, 2005.
- [42] K. Ogata, *Ingeniería De Control Moderna, 5th ed.*, Madrid: Pearson Educación, 2003.
- [43] F. Rodríguez, M. Berenguel, "Control y Robótica en Agricultura", Almería, España: Universidad de Almería, 2004.
- [44] Reichard Software Corporation, "Symbol Factory 2.0", 2005 [Online]. Disponible en [www.reichard.com](http://www.reichard.com)

## Apéndice A. Dispositivos Labjack

### Contenidos Apéndice A.

Contenidos Apéndice A.....	103
Lista de Figuras Apéndice A.....	103
Lista de tablas Apéndice A.....	103
Apéndice A.1 Modulo UE9.....	104
Apéndice A.2 Esquema Tarjeta CB-37.....	104
Apéndice A.3 Esquema Tarjeta CB-15.....	104
Bibliografía.....	106

### Lista de Figuras Apéndice A

Figura A.1 Mapa de conexiones del módulo Labjack UE9.....	104
Figura A.2 Esquema de tarjeta CB-37.....	105
Figura A.3 Esquema de tarjeta CB-15.....	105

### Lista de Tablas Apéndice A

Tabla A.1 Identificador número de channels en DAQFactory.....	104
---	-----

Apéndice A.1 Módulo Labjack UE9

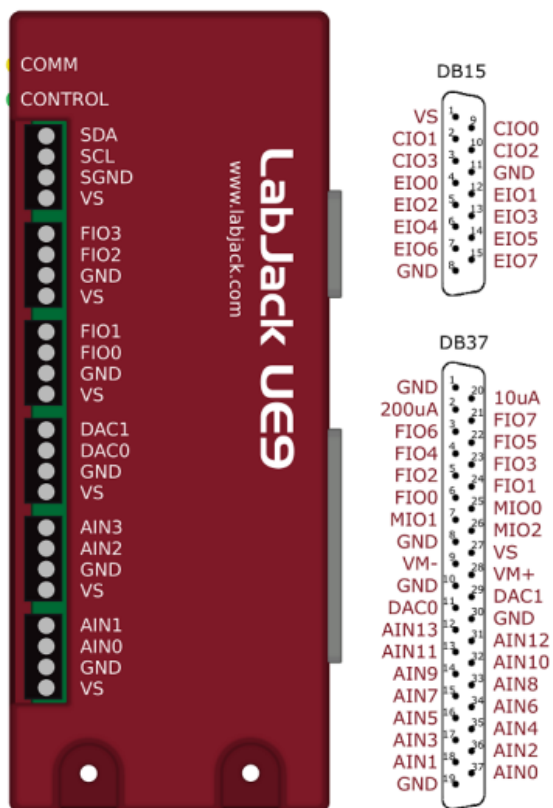


Figura A.1 Mapa de conexiones del módulo Labjack UE9 [A1].

Identificador I/O Labjack	Identificador de channel I/O DAQFactory
FIO 0-7	0-7
EIO 0-7	8-15
CIO 0-3	16-19
MIO 0-2	20-22
Sensor T <sup>a</sup> interno	140

Tabla A.1 Identificador número de channels en DAQFactory [A2].

Apéndice A.2 Esquema Tarjeta CB-37

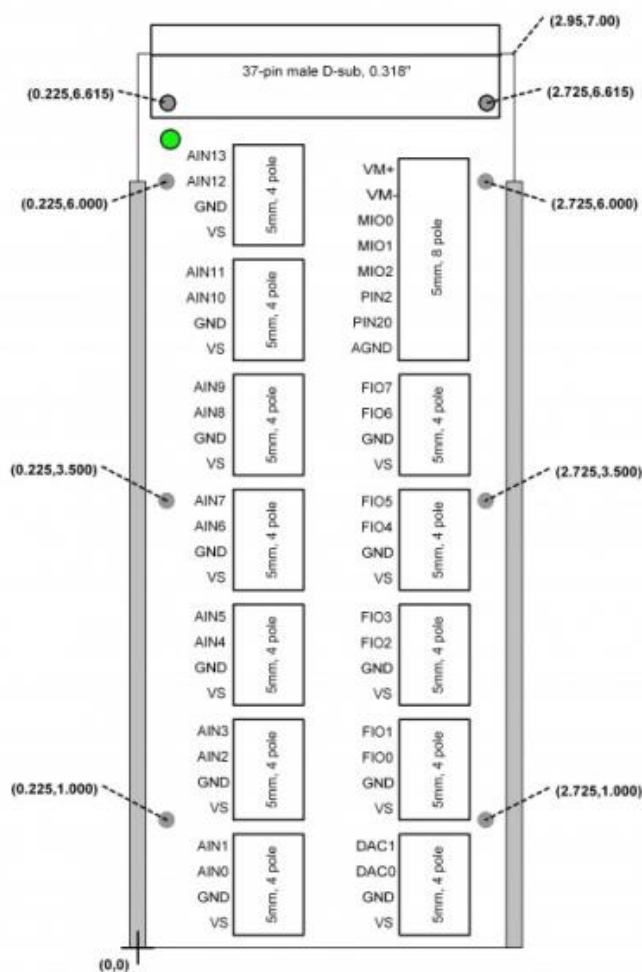


Figura A.2 Esquema de tarjeta CB-37 [A2].

Apéndice A.3 Esquema Tarjeta CB-15

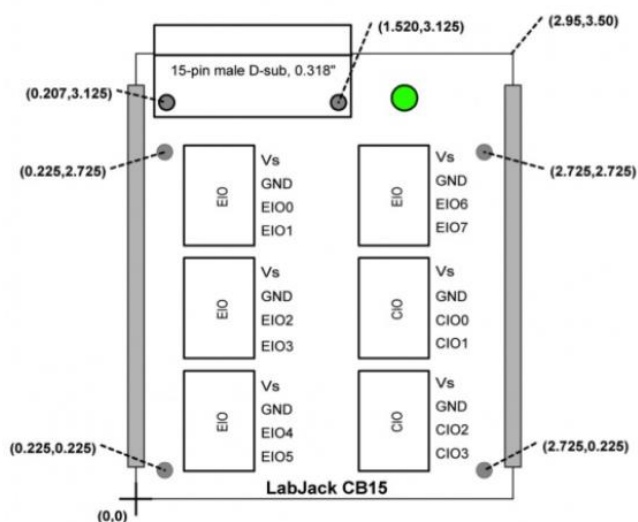


Figura A.2 Esquema de tarjeta CB-15 [A3].

## Bibliografía

[A1] Labjack, "Labjack Hardware", UE9 datasheet, 2012. [Revisado Junio 2018].

[A2] Azeotech Inc., "FAQFactory Users Guide", [Online]. Disponible en: <https://www.azeotech.com>. [Ultima Visita Junio 2018].

[A3] Labjack Support, "Labjack Accessories", CB-37 V2.1 datasheet. [Revisado Junio 2018].

[A4] Labjack Support, "Labjack Accessories", CB-15 datasheet. [Revisado Junio 2018].

## Apéndice B. Secuencias Principales

### Contenidos Apéndice B

Contenidos Apéndice B.....	107
Apéndice B.1 Inicio de Sistema.....	108
Apéndice B.2 Control de pH.....	110
Apéndice B.3 Inyección.....	111
Apéndice B.4 Cosechado.....	113
Apéndice B.5 Alarmas.....	116
Apéndice B.6 Email.....	117
Apéndice B.7 Login.....	118

## Apéndice B.1 Inicio de Sistema

```

//Variables de tipo Registry.var no necesitan ser declaradas en inicio
//Son guardadas en el registro de windows, no se eliminan al reiniciar
//Permite el uso de funciones UD para programar internamente Labjack
include("C:\Program Files (x86)\LabJack\Drivers\labjackud.h")
using("device.labjack")
//Declaración de variables globales
global string accion1="Acceso"
global string accion2="Registros"
global string accion3=""
global permis1=0
global varioff=0
global con1=0
global cont1=0
//Declaración de variables string
global string aviso1= ""
global string orden1= "Orden"
//Control de acceso
global string user= ""
global string pass= ""
global secur=0
if(IsEmpty(Registry.nuser)==0)
else
Registry.nuser=0 //Si existe registro no crear
endif
if(IsEmpty(Registry.nmedio)==0)
else
Registry.nmedio=0 //Si existe registro no crear
endif
//Indicadores Alarmas
global Aledmain=Fill(0,25)
global Aledsec=Fill(0,25)
//Inicialmente Alarmas de nivel desactivadas
global A240=0
global A241=0
global A242=0
global A243=0
global A244=0
global A245=0
global A740=0
global A741=0
global A742=0
global A743=0
global A744=0
global A745=0
global A746=0
global A747=0

//Creación variables auxiliares de medio
global string medio= ""
var.strfertprog="Seleccinar Receta"
global fertA=0
global fertB=0
global fertC=0
global fertD=0
global bombeo=0
global inyeccion1=0
global inyeccion2=0
global inyeccion3=0
global inyeccion4=0
global ciclo=0
global cicocos=0

```

```

var.mot_med={0}
var.medfert={0}
var.ferti={0}
va.medTipo=1
var.medFerti=1
var.medMedio=0
var.medAuto=0
global nperi=Registry.nperi
global cargainy=10
global stopcos=0
///Crea variables auxiliares para Control auto / manual
global swchmed=Fill(0,11) //medio
global swchrw=Fill(0,20)
global swchtl=Fill(0,20)
global swchtb=Fill(0,20)
global swchcol=Fill(0,12)
global fprog=Fill(0,4)
global fprogau=Fill(0,4)
global cosSistema=Fill(0,10)
//Configuracion de Gráfica General
global selTemp=Fill(0,13)
global selph=Fill(0,13)
global selox=Fill(0,13)
global selmetin=Fill(0,4)
global selmetout=Fill(0,4)
// Colores para trazas de graficas
global colVerde=rgb(0x46,0xa0,0x46)
global colRojo=rgb(0xff,0,0)
global colAzul=rgb(0x3b,0x3b,0xff)
global colNaranja=rgb(0xd7,0x64,0x1e)
global colMorado=rgb(0xd7,0x1e,0xd7)
global colCeleste=rgb(0x1e,0xd7,0xd7)
global colAmarillo=rgb(0xd7,0xd7,0x1e)
//Inicio de Secuencias secundarias
beginseq(ping)
delay(20)
beginseq(alarmas)
delay(10)
if(Registry.marchacos==1)
    beginseq(cosechado)
endif
if(Registry.u907==1)
///Inicio de Bombas Apagadas por seguridad
u907_BFertiliz11=0
u907_BFertiliz12=0
u907_BFertiliz13=0
u907_BFertiliz14=0
u907_BFertiliz21=0
u907_BFertiliz22=0
u907_BFertiliz23=0
u907_BFertiliz24=0
endif

```



## Apéndice B.2 Control de pH

```

//Control de pH. Válvula=0 inyecta aire; válvula=1 inyecta CO2
private radu901=0
private radu903=0
private radmin=1000
while(1)
  radmin=Registry.radminco2 //Limite de Radiación en pantalla configuración
  if (u901_RadGlobal[0]!=NaN()) //Comprueba que los sensores funcionan o les da valor cero
    radu901=Mean(u901_RadGlobal[0,20])
  else
    radu901=0
  endif
  if (u903_RadIntGlob[0]!=NaN())
    radu903=Mean(u903_RadIntGlob[0,20])
  else
    radu903=0
  endif
  if((radu901>radmin)|| (radu903>radmin*0.9))
    if((Registry.marchacol1==1)&&(Registry.autocol1==1)&&(Registry.co2co1==1))
      //se comprueba que este encendido el sistema y en auto
      if (Mean(u906_pHC1[0,10])>(Registry.SetPphC1/10)) //hace media de 10 valores y compara con SP, el cual se divide
        entre 10 por el script para guardar decimales en registros.
        u906_EvCO2C1=1 //abrimos o cerramos valvula co2
      else
        u906_EvCO2C1=0
      endif
    else
      u906_EvCO2C1=0
    endif
  if((Registry.marcharw1==1)&&(Registry.autorw1==1)&&(Registry.co2rw1==1))
    if (Mean(u904_pHRW1[0,10])>(Registry.SetPphRW1/10))
      u904_EvCO2RW1=1
    else
      u904_EvCO2RW1=0
    endif
  else
    u904_EvCO2RW1=0
  endif
  if((Registry.marchaXXX==1)&&(Registry.autoXXX==1)&&(Registry.co2XXX==1))
    .....
    /// Repite comprobación para cada sistema ///////////////
    .....
  endif
else // Condición de Radiación
  u906_EvCO2C1=0
  u906_EvCO2C2=0
  u906_EvCO2C3=0
  u905_EvCO2T1=0
  u905_EvCO2T2=0
  u905_EvCO2T3=0
  u904_EvCO2RW1=0
  u904_EvCO2RW2=0
  u904_EvCO2RW3=0
  u903_EvCO2TL1=0
  u903_EvCO2TL2=0
  u902_EvCO2TL4=0
  u902_EvCO2RW4=0
endif // Condición de Radiación
delay(10) //Repite ciclo cada x segundos
endwhile

```

## Apéndice B.3 Inyección

```

//Apertura de Válvula de medio
switch
  case (medSistema==1)
    u905_EvMedioT1=1
  case (medSistema==2)
    u905_EvMedioT2=1
  case (medSistema==3)
    u905_EvMedioT3=1
  case (medSistema==4)
    u904_EvMedioRW1=1
  case (medSistema==5)
    u904_EvMedioRW2=1
  case (medSistema==6)
    u904_EvMedioRW3=1
  case (medSistema==7)
    u902_EvMedioRW4=1
  case (medSistema==8)
    u903_EvMedioTL1=1
  case (medSistema==9)
    u903_EvMedioTL2=1
  case (medSistema==11)
    //u903_EvMedioTL3=1
  case (medSistema==10)
    u902_EvMedioTL4=1
  default
endcase
if (medFerti==0)
  fprog[0]=0
  fprog[1]=0
  fprog[2]=0
  fprog[3]=0
endif
//Configuración caudal de bombas inyectoras
if (caudals==1)
  cargainy=Registry.cargainy1*coef3
  else
  cargainy=Registry.cargainy2*coef3
endif
while (xcicle==0)
//Calculo de tiempo de periodo
private tiempo=(litrost-(litrosfer))/(Registry.caudalm*1000/36000)
private periodo2=tiempo/nperi
private periodo=(litrost/(Registry.caudalm*1000/36000))/nperi
//Calculo % Duty Cycle
private f1=((litrost*Registry.concent/Registry.concenf)*fprog[0]/100)/((cargainy*Registry.caudalf/(3600*1000))*(litrost-
(litrost*Registry.concent/Registry.concenf))/(Registry.caudalm*1000/36000)) //sdfhasdrh
private f2=((litrost*Registry.concent/Registry.concenf)*fprog[1]/100)/((cargainy*Registry.caudalf/(3600*1000))*(litrost-
(litrost*Registry.concent/Registry.concenf))/(Registry.caudalm*1000/36000))
private f3=((litrost*Registry.concent/Registry.concenf)*fprog[2]/100)/((cargainy*Registry.caudalf/(3600*1000))*(litrost-
(litrost*Registry.concent/Registry.concenf))/(Registry.caudalm*1000/36000))
private f4=((litrost*Registry.concent/Registry.concenf)*fprog[3]/100)/((cargainy*Registry.caudalf/(3600*1000))*(litrost-
(litrost*Registry.concent/Registry.concenf))/(Registry.caudalm*1000/36000))

//Calculo tiempo Duty Cycle
private per1=periodo*f1
private per2=periodo*f2
private per3=periodo*f3
private per4=periodo*f4
private fito1=fprog[0]
private fito2=fprog[1]
private fito3=fprog[2]

```

```
private fito4=fprogm[3]
///Ajuste del tiempo mínimo de activación de bombas inyectoras
if(fito1>0)
  if(per1<10)
    control=1
  endif
endif
if(fito2>0)
  if(per2<10)
    control=1
  endif
endif
if(fito3>0)
  if(per3<10)
    control=1
  endif
endif
if(fito4>0)
  if(per4<10)
    control=1
  endif
endif

if(control==1)
  if(nperi>1)
    nperi--
    control=0
  else
    xcicle=1
  endif
else
  xcicle=1
endif
endwhile
```

## Apéndice B.4 Cosechado

```

/Proceso de cosechado diario -Secuencia Siempre Activa
var.orden=0 //Controla orden de activación de cosechado
var.orden2=0 //Controla la activación de adición de medio
var.ciclocos=1
if(Registry.autocos==0)
var.stopcos=1
else
var.stopcos=0
endif
private Alarma1=0
private Alarma2=0
private flag=0
private flag2=0
private flag3=0
private retardo=5 //Necesario tiempo de espera entre fin e inicio de inyección tiempo=time*retardo
private caudalcos=1////////////////////////////////////
private time=1 //Tiempo de Repetición de cada ciclo
private nfotob=10 //Número máximo de fotobiorreactores
private coef4=Registry.coef4/100
while(Registry.marchacos) //Mantiene la secuencia activa
ciclocos=1
var.contador=Fill(0,11)
////Rango de horas de funcionamiento////////////////////////////////
while(((StrToDouble(FormatDateTime("%H.%M",SysTime()))>=Registry.hini&&(StrToDouble(FormatDateTime("%H.%M",Sy
sTime()))<=Registry.hfin&&Registry.marchacos==1) || (Registry.autocos==0&&Registry.marchacos==1))
flag=0
flag3=0
Alarma1=A741 //Alarma de Nivel Tanque de cosechado Línea 1
Alarma2=A743 //Alarma de Nivel Tanque de cosechado Línea 2
if(stopcos==1)////Detiene ciclo sin detener la secuencia para uso manual
Alarma1=1
Alarma2=1
endif
if(ciclocos==1)
////////////////////////////////FOTOBIOREACTORES////////////////////////////////
if(cosSistema[0]==1)
if(Registry.ordent1==orden)
flag=1
u905_EvCosechaT1=1
contador[0]=contador[0]+(time*caudalcos*coef4)////Ajustar caudal
if(contador[0]>=Registry.litrosT1 || Alarma1==1)
u905_EvCosechaT1=0
var.cont0=contador[0]
contador[0]=0
orden++
endif
endif

endif
////////////////////////////////
if(cosSistema[1]==1)
if(Registry.ordent2==orden)
flag=1
u905_EvCosechaT2=1
contador[1]=contador[1]+(time*caudalcos*coef4)////Ajustar caudal

if(contador[1]>=Registry.litrosT1 || Alarma1==1)
u905_EvCosechaT2=0
var.cont1=contador[1]
contador[1]=0
orden++

```

```

        endif
    endif
endif
#####
if(cosSistema[2]==1)
    if(Registry.ordent3==orden)
        flag=1
        u905_EvCosechaT3=1
        contador[2]=contador[2]+(time*caudalcos*coef4)///Ajustar caudal

        if(contador[2]>=Registry.litrosT3 || Alarma1==1)
            u905_EvCosechaT3=0
            var.cont2=contador[2]
            contador[2]=0
            orden++
        endif
    endif
endif
#####
if(cosSistema[3]==1)
    if(Registry.ordenrw1==orden)
        flag=1
        u904_BCosechaRW1=1
        contador[3]=contador[3]+(time*caudalcos*coef4)///Ajustar caudal

        if((contador[3]>=Registry.litrosRw1) || (Alarma2==1))
            u904_BCosechaRW1=0
        endif
    endif
endif
if((Registry.ordenrw1*retardo)==orden2)
    flag3=1
    if(flag2==1)
        if(ciclo==0)
            orden2++
            flag2=0
        endif
    else
        if(Registry.automed==1&&flag2==0) ///Sistema de medio ijdebe estar en automáticoij
            flag2=1
            flag3=1
        endif
    endif
endif
//Paso de parámetros a la secuencia Inyección que introducirá el medio
Registry.caudals=2
var.medSistema=4
execute("fprogm[0]=Registry.fertA"+Registry.receta3)
execute("fprogm[1]=Registry.fertB"+Registry.receta3)
execute("fprogm[2]=Registry.fertC"+Registry.receta3)
execute("fprogm[3]=Registry.fertD"+Registry.receta3)

Registry.litrost=Registry.litrosRw1+Registry.evapRw1
//Activa Inyección Medio en sistema
beginseq(inyeccion)
endif
endif
endif
#####
////.....Repite para sistemas 4, ,5 ,6, ,7 ,8 ,9...///
#####
/////Asegura el Aumento de los contadores que controlar el orden de cosechado

```

```

if(flag3==0)
orden2++
endif
if(flag==0)
orden++
endif
if(Registry.automed==0) //Si sistema de medio en manual No introduce medio tras el cosechado
orden2++
endif
/////El ciclo termina tras recorrer todos los fotobiorreactores activados
if(orden>nfotob&&orden2>(nfotob*retardo))
ciclocos=0
stopcos=0
orden=0
orden2=0
endif
//////////
endif //Ciclo cosechado
delay(time) //Ciclos de Xs, time usado para el cálculo teórico de litros
endwhile
//Asegura Cierre de Actuadores al final del ciclo
if(cosSistema[0]==1)
u905_EvMedioT1=0
u905_EvCosechaT1=0
endif
if(cosSistema[1]==1)
u905_EvMedioT2=0
u905_EvCosechaT2=0
endif
if(cosSistema[2]==1)
u905_EvMedioT3=0
u905_EvCosechaT3=0
endif
if(cosSistema[3]==1)
u904_EvMedioRW1=0
u904_BCosechaRW1=0
endif
if(cosSistema[4]==1)
u904_EvMedioRW2=0
u904_BCosechaRW2=0
endif
if(cosSistema[5]==1)
u904_EvMedioRW3=0
u904_BCosechaRW3=0
endif
if(cosSistema[6]==1)
u902_EvMedioRW4=0
u902_BCosechaRW4=0
endif
if(cosSistema[7]==1)
u903_EvMedioTL1=0
u903_BCosechaTL1=0
endif
if(cosSistema[8]==1)
u903_EvMedioTL2=0
u903_BCosechaTL2=0
endif
if(cosSistema[9]==1)
u902_EvMedioTL4=0
u902_BCosechaTL4=0
endif
delay(2)
endwhile

```

## Apéndice B.5 Alarmas

```

//Controla las alarmas entre diferentes sistemas//Permite desconectar alarmas de sistemas Parados
While(1)
if(Registro.marcharw1==1)//Comprueba sistema en Marcha
  if(Mean(u904_pHRW1[0,60])>Registry.alphrw1h/10)//////////Comprueba valor medio de 60 segundos con setpoints H / L
    var.A010=1
  else
    var.A010=0
  endif
  if(Mean(u904_pHRW1[0,60])<Registry.alphrw1l/10)
    var.A011=1
  else
    var.A011=0
  endif
  //////////// Comprueba valor medio de 60 segundos con setpoints H / L
  if(Mean(u904_TempRW1[0,60])>Registry.altempw1h/10)
    var.A020=1
  else
    var.A020=0
  endif
  if(Mean(u904_TempRW1[0,60])<Registry.altempw1l/10)
    var.A021=1
  else
    var.A021=0
  endif
  //////////// Comprueba valor medio de 60 segundos con setpoints H / L
  if(Mean(u904_ODRW1[0,60])>Registry.aloxdrw1h/10)
    var.A030=1
  else
    var.A030=0
  endif
  if(Mean(u904_ODRW1[0,60])<Registry.aloxdrw1l/10)
    var.A031=1
  else
    var.A031=0
  endif
  //////////// Comprueba valor medio de 60 segundos con setpoints H / L
  if(Mean(u904_NivelRW1[0,60])>Registry.alnivr1h/10)
    var.A040=1
  else
    var.A040=0
  endif
  if(Mean(u904_NivelRW1[0,60])<Registry.alnivr1l/10)
    var.A041=1
  else
    var.A041=0
  endif
else //Sistema Parado todas sus Alarmas=0
  var.A010=0
  var.A011=0
  var.A020=0
  var.A021=0
  var.A030=0
  var.A031=0
  var.A040=0
  var.A041=0
endif
if(Registro.marchaXXX==1) .....// Repite proceso para cada sistema //////////
.....
Endif
delay(5)
endwhile

```

## Apéndice B.6 Email

```

//Email.strHost: the name of your smtp host. For example: Email.strHost = "mail.myISP.com"
Email.strHost = "smtp.mail.yahoo.com"
//Email.strHost = "smtp.live.com"
//Email.strUserName: your smtp username
Email.strUserName:"alarmsifapa@yahoo.com"
Email.strPassword:"IFAPAUAL1"
//Email.strEncoding: the encoding of your message. Default is "iso-8859-1"
Email.strEncoding:"iso-8859-1"
//Email.strConnectionType = "STARTTLS"////v5.90
//Email.strSSLProtocol = "TLSv1_2"////v5.90
//Email.strTo: the email address you'd like to send the message to
Email.strTo:"usuario@gmail.com"
//Email.strCC: the CC for the email
//Email.strSubject: the subject of your email
Email.strSubject:"Alarmas Sabana"
//Email.strFile: the full path to a file you would like to attach to the email
//Email.strReplyAddress: the email that shows up on as the reply. This is required.
Email.strReplyAddress:"alarmsifapa@yahoo.com"
//Email.strReplyName: the name that shows up as the reply
Email.strReplyName:"Pc IFAPA"
//Email.strBCC: the BCC for the email.copia secreta
//Email.strBody: the body text of the email.//Admite variable string para modificar mensajes
Email.strBody:"Hola Mundo"
//Email.HTML: set to 1 for an HTML body. Defaults to 0.
Email.HTML:1
//Email.Port: set to the port of your SMTP server. DaqFactory v5.85 no soporta SSL
//Autenticación por SMTP en puertos 25 sin encriptar, 587 TLS, 465 SSL
Email.Port:587
//Email.strAuthenticate: can be one of three strings to determine the authentication method required for your
//SMTP server: "NoLogin", "AuthLogin", "LoginPlain". If you do not require a password, use the first (the default).
//Usually if you do require a password you will use AuthLogin, but if that does not work you can try LoginPlain.
Email.strAuthenticate:"AuthLogin"
//Email.Send(): Once you have set the desired variables, call the Email.Send() function to actually send the
//email. You can send multiple emails by simply changing the desired variables and calling send again.
Email.Send()

```



## Apéndice B.7 Login

```

///comparar dato introducido con dato guardado en registro
private per=0
if(GetLength(user)>=6)
if(GetLength(pass)>=6)
if((secur<=0) || (secur>3))
system.messageBox(" Nivel de seguridad valores [1,3]")
else
if(nuser>=1)
for (private.n = 1, n <nuser, n++)
execute("var.struser=struser"+doubletostr(n-1))
if (struser==user)
per=per+1
endif
endif
endif
if(per==0)
execute("var.struser"+doubletostr(nuser)+"=user")
execute("var.strpass"+doubletostr(nuser)+"=pass")
execute("var.secur"+doubletostr(nuser)+"=secur")
nuser=nuser+1
else
system.messageBox("Ya existe el usuario")
endif
endif
else
system.messageBox(" Contraseña debe tener >6 letras")
endif
else
system.messageBox(" Usuario debe tener >6 letras")
endif

```

///Eliminar Usuario

```

-----
private strchkuser
if(nuser>=1)
for (private.n = 1, n <nuser, n++)
execute("strchkuser=struser"+doubletostr(n-1))
if (strchkuser==user)
execute("struser"+doubletostr(n-1)+"=struser"+doubletostr(nuser))
execute("strpass"+doubletostr(n-1)+"=strpass"+doubletostr(nuser))
execute("strsecur"+doubletostr(n-1)+"=secur"+doubletostr(nuser))
nuser=nuser-1
endif
endif
endif

```

///Permiso de acceso a usuario

```

-----
private per=0
if(nuser>=1)
for (private.n = 1, n <=nuser, n++)
execute("var.strchkuser=struser"+doubletostr(n-1))
if (strchkuser==user)
execute("var.strchkpass=strpass"+doubletostr(n-1))
if (strchkpass==pass)
execute("var.chksecur=secur"+doubletostr(n-1))
system.messageBox("Bienvenido "+user)
per++
else
var.chksecur=0
system.messageBox("Contrasenia Incorrecta")

```

```
        per++
    endif
endif
endfor
if (per==0)
    system.messageBox("Usuario Desconocido")
endif
else
system.messageBox(" Existen 0 usuarios")
endif
```



El objetivo principal de este proyecto es el desarrollo e implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, que permita un control adecuado e integral de los diferentes elementos que forman la instalación demostrativa de una biorrefinería de microalgas. Este trabajo se encuentra dentro del proyecto europeo SABANA y es liderado por la Universidad de Almería. La planta permitirá demostrar la tecnología, evaluar las características operativas del sistema y su impacto ambiental.

Como parte de un trabajo de fin de grado las tareas realizadas han consistido en diseñar una arquitectura adecuada para el sistema de supervisión, la automatización de los principales procesos realizados en la planta como la fertirrigación y cosechado de cultivos, la creación de un modelo de datos que permita un fácil acceso para los grupos de investigación involucrados a nivel europeo y la puesta en marcha del sistema respetando las especificaciones impuestas.

El sistema ha sido implementado mediante la herramienta de desarrollo DAQFactory y han sido utilizados dispositivos Labjack UE9 como unidades remotas de comunicación entre la herramienta y los elementos de la planta.

Como resultado se ha logrado obtener una arquitectura de poca profundidad que facilita el control y supervisión de cada uno de los elementos que componen la planta. El sistema es capaz de realizar de forma automática el control de los parámetros de cultivo y ha sido realizado un especial esfuerzo en la automatización de los sistemas de fertirrigación y cosechado. Además, han sido añadidas funciones para la supervisión de fallos de conexión, que junto al sistema de alarmas, han permitido aumentar la robustez del sistema. Las funciones de control de usuarios y el sistema de registro de datos de cultivo han completado la herramienta SCADA y permitido alcanzar un alto valor en la evaluación realizada mediante la guía GEDIS.

The main objective of this project is the development and implementation of a system of supervision, control and data acquisition, which allows an adequate and integral control of the different elements that form the demonstration centre of a microalgae biorefinery. This work is within the European SABANA project and is led by the University of Almeria. This centre will be operated to demonstrate the technology, asses the operating characteristics of the system and evaluate environment impacts.

As part of an end-of-degree project, the tasks carried out consisted of designing an adequate architecture for the supervision system, automation of the main processes carried out in the plant such as fertigation and harvesting of crops, the creation of a data model that allows easy access by the research groups involved at European level and the implementation of the system respecting the imposed specifications.

The system has been implemented using the DAQFactory development tool and Labjack UE9 devices have been used as remote units of communication between the tool and the elements of the plant.

As a result, it has been possible to obtain a shallow architecture that facilitates the control and supervision of each elements that make up the plant. The system is able to perform automatically the control of the cultivation parameters and a special effort has been made in the automation of the fertigation and harvesting systems. In addition, functions have been added to monitor connection failures that, together with the alarm system, have made it possible to increase the robustness of the system. The user control functions and the crop data recording system have completed the SCADA tool and allowed to achieve a high value in the evaluation carried out through the GEDIS guide.

