



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Automatización y control de invernadero
destinado al cultivo hidropónico

Greenhouse Automation and Control for
Hydroponic Cultivation

Autor

Sergio Ramón Moreno

Director

Pedro Huerta Abad

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2023



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Automatización y control de invernadero
destinado al cultivo hidropónico

Greenhouse Automation and Control for
Hydroponic Cultivation

424.23.63

Autor: Sergio Ramón Moreno

Director: Pedro Huerta Abad

Fecha: 21/11/2023

INDICE DE CONTENIDO

1. Resumen.....	1
1.1. Palabras clave	1
2. Abstract.....	2
2.1. Keywords.....	2
Agradecimientos	3
3. Introducción.....	4
3.1. Estructura de la memoria	4
3.2. Motivación.....	4
3.3. Objetivos	7
3.4. Antecedentes.....	7
3.4.1. Invernaderos.....	7
3.4.2. Hidroponía	10
4. Marco Teórico.....	13
4.1. Hidroponía.....	13
4.1.1. Definición.....	13
4.1.2. Ventajas e inconvenientes.....	13
4.1.2.1. Ventajas	13
4.1.2.2. Desventajas.....	13
4.1.3. Tipos de sistemas hidropónicos.....	14
4.1.3.1. Cultivos en sustrato	14
4.1.3.1.1. Macetas Bentley	15
4.1.3.1.2. Tubos verticales	16
4.1.3.1.3. Bolsas de cultivo(slab).....	17
4.1.3.2. Cultivos en solución	18
4.1.3.2.1. Cultivo en balsa.....	19
4.1.3.2.2. Aireación forzada.....	20
4.1.3.2.3. Aireación en cascada	20
4.1.3.2.4. Flujo profundo	21

INDICES

4.1.3.2.5. NFT	21
4.1.3.2.6. NGS	24
4.1.3.3. Aeroponía	26
4.2. Cultivos hidropónicos.....	27
4.2.1. Cultivo de lechuga [18]	27
4.2.1.1. Tipos de lechuga	28
4.2.1.1.1. Lechuga tipo iceberg	28
4.2.1.1.2. Lechuga tipo española o trocadero	29
4.2.1.1.3. Lechuga tipo hoja de roble y Salad bowl	29
4.2.1.1.4. Lechuga tipo Lollo	30
4.2.1.1.5. Lechuga tipo cogollo o Little Gem	30
4.3. Condiciones climáticas	31
4.3.1. Temperatura	31
4.3.2. Luz	32
4.3.1. Humedad relativa	32
4.3.2. Dióxido de carbono	33
4.3.3. Viento	34
4.4. Factores influyentes en el crecimiento	34
4.4.1. Solución nutritiva	34
4.4.1.1. Calidad del agua	36
4.4.1.2. Temperatura de la solución	36
4.4.1.3. Oxigenación	37
4.4.1.4. PH	37
4.4.1.5. Conductividad eléctrica	40
4.4.1.6. Control del volumen de la solución	41
4.5. Invernaderos	41
4.5.1. Definición	41
4.5.2. Tipos	42
4.5.2.1. Tipo parral	42
4.5.2.2. Raspa y amagado	44
4.5.2.3. Asimétrico	45
4.5.2.4. Capilla	46
4.5.2.5. Diente de sierra	47
4.5.2.6. Doble capilla	49
4.5.2.7. Túnel	50

4.5.2.8. Tipo venlo o de Cristal	51
5. METODO OPERATIVO.....	52
5.1. Situación Geográfica.....	52
5.2. Análisis climático.....	53
5.2.1. Temperatura	54
5.2.1. Precipitaciones.....	55
5.3. Selección del tipo de invernadero	56
5.4. Dimensionamiento de la instalación	57
5.4.1. Planteamiento del sistema	57
5.4.2. Selección de cultivo	58
5.4.3. Solución nutritiva.....	58
5.4.1. Líquidos reguladores.....	59
5.4.1.1. Regulador de PH	59
5.4.1.1. Regulador de CE.....	60
5.4.1. Dimensionamiento de los tubos de cultivo	60
5.4.2. Dimensionamiento Tanques contenedores.....	61
5.4.2.1. Tanque solución nutritiva	61
5.4.2.1. Tanques reguladores PH y Conductividad	62
5.4.1. Actuadores.....	63
5.4.1.1. Bombas	63
5.4.1.1.1. Bomba tanque principal.....	63
5.4.1.1.2. Bomba acequia	65
5.4.1.1.3. Bombas tanque reguladores de PH y CE.....	66
5.4.1.2. Agitador	66
5.4.1.3. Climatización.....	67
5.4.1.3.1. Ventilador	67
5.4.1.3.2. Calefactor.....	68
5.4.2. Sensores.....	68
5.4.2.1. Sensor de temperatura	68
5.4.2.2. Sensor de nivel de líquidos[48].....	69
5.4.2.3. Sensor de PH.....	70
5.4.2.4. Sensor de Conductividad eléctrica.....	70
5.4.1. Sistema de control	71
5.4.1.1. CPU	71

INDICES

5.4.1.2.	Módulos E/S	72
5.4.1.2.1.	Módulos E/S Digitales.....	72
5.4.1.2.2.	Módulos entrada analógicos	73
5.4.1.3.	Pantalla HMI	73
5.4.1.4.	Protocolos de comunicación	74
5.4.1.4.1.	PROFIBUS.....	75
5.4.1.4.2.	PROFINET.....	75
5.4.1.5.	Elementos de control	75
5.4.1.5.1.	Selector automático/manual.....	75
5.4.1.5.1.	Seta de emergencia	76
5.4.1.5.2.	Relé térmico	77
5.4.1.5.3.	Contactores	77
5.4.1.6.	Fuente de alimentación.....	78
5.5.	Cálculos eléctricos.....	80
5.5.1.	Metodología	80
5.5.1.1.	Dimensionamiento de la línea	81
5.5.1.2.	Descripción de las partes de la línea	81
5.5.2.	Cálculo del dimensionado de la línea	86
5.5.1.	Resultado del dimensionado de las líneas de la instalación.....	93
5.6.	Programación del PLC	94
5.6.1.	Configuración del software	95
5.6.2.	Organización del programa	97
5.6.3.	Variables y bloques de datos.....	99
5.6.3.1.	Variables del PLC E/S Físicas	99
5.6.3.1.	Variables de bloques de datos	101
5.6.3.1.1.	DB4 Entradas digitales.....	101
5.6.3.1.2.	DB1 Variables HMI.....	102
5.6.3.1.3.	DB2 Sensores.....	103
5.6.3.1.4.	DB3 Control de reloj y horas de riego	104
5.6.3.2.	FB100 FB MOTOR	106
5.6.3.3.	FUNCIONES.....	110
5.6.3.3.1.	FC1 Función Analógica.....	110
5.6.3.3.2.	FC6 Función Control horario.....	114
5.6.4.	Funcionamiento del programa	118
5.6.4.1.	OB1.....	119

5.6.4.2.	FC2 E_FISICAS_TO_DIGITAL	120
5.6.4.3.	FC4 CTRL_Tª	122
5.6.4.4.	FC5 CTRL_RIEGO	125
5.6.4.5.	FC3 S_DIGITAL_TO FISICAS	128
5.7.	Programación SCADA	129
5.7.1.	Configuración de imágenes SCADA.....	130
5.7.2.	Flyer de inicio	131
5.7.3.	Encabezado	131
5.7.4.	Pie de pagina.....	132
5.7.5.	Control Riego	133
5.7.5.1.	Modo manual.....	134
5.7.5.2.	Modo automático	135
5.7.5.2.1.	Control horario	135
5.7.5.3.	Control por sensor	137
5.7.6.	Control temperatura	139
5.7.6.1.	Modo manual.....	139
5.7.6.2.	Modo automático	140
5.7.7.	Alarmas	142
5.7.7.1.	Alarma por Térmico	142
5.7.7.2.	Alarma por Seta de emergencia	144
6.	Conclusiones	146
7.	Bibliografía	147

INDICE DE ILUSTRACIONES

Fig. 1 Índice de inseguridad alimentaria en el mundo [1]	5
Fig. 2 Kew Gardens Reino Unido [2]	8
Fig. 3 Crystal palace Londres[2]	8
Fig. 4 Glaspalast Munich[3]	9
Fig. 5 Jardines colgantes de babilonia[4]	10
Fig. 6 Chinampas aztecas[5]	10
Fig. 7 Sistema Veggie[6]	12
Fig. 8 Macetas Bentley[7]	15
Fig. 9 Cultivo hidropónico de tubos verticales[8]	16
Fig. 10 Composición interna del sistema[8]	16
Fig. 11 Cultivo en bolsas(slab)[7]	17
Fig. 12 Bolsa de cultivo con espuma fenólica[7]	17
Fig. 13 Cultivo en balsa [9]	19
Fig. 14 Sistema de aireación forzada[10]	20
Fig. 15 Método de aireación por cascada[11]	20
Fig. 16 Sistema hidropónico de flujo profundo [7]	21
Fig. 17 Funcionamiento de sistema NFT[13]	23
Fig. 18 Sistema hidropónico NFT[14]	23
Fig. 19 Cultivo hidropónico mediante NGS	25
Fig. 20 Tipos de bolsas NGS	25
Fig. 21 Cultivos aerológicos[7], [17]	26
Fig. 22 Cultivo de lechuga iceberg[19]	28
Fig. 23 Lechuga iceberg[20]	28
Fig. 24 Lechuga trocadero o española[21]	29
Fig. 25 Lechuga hoja de roble[22]	29

Fig. 26 Lechuga Lollo[23]	30
Fig. 27 Lechuga Little gem[24]	30
Fig. 28 Niveles de pH[32]	38
Fig. 29 Niveles óptimos de pH en la solución[32]	38
Fig. 30 Tiras reactivas(izquierda) Kit líquido(derecha)[32]	39
Fig. 31 Medidor de pH digital[32].....	39
Fig. 32 Invernadero tipo parral[36]	43
Fig. 33 Invernadero tipo raspa y amagado[36]	44
Fig. 34 Invernadero tipo asimétrico[36].....	46
Fig. 35 Invernadero tipo capilla o multinivel[36]	47
Fig. 36 Invernadero diente de sierra[38]	48
Fig. 37 Invernadero de doble capilla[39].....	49
Fig. 38 Invernadero tipo túnel[40]	50
Fig. 39 Invernadero tipo venlo o cristal[36].....	51
Fig. 40 Localidad de Ricla.....	52
Fig. 41 Localización invernadero	53
Fig. 42 Climograma Ricla[41]	54
Fig. 43 Temperaturas máximas y mínimas promedio Ricla [42]	55
Fig. 44 Probabilidad diaria de precipitación en Ricla[42].....	55
Fig. 45 Promedio mensual de lluvia en Ricla[42]	56
Fig. 46 Dimensiones invernadero	57
Fig. 47 Esquema general sistema hidropónico	58
Fig. 48 Solución nutritiva A+B Coco forte[44].....	59
Fig. 49 Reguladores de PH[45]	59
Fig. 50 Reguladores de CE [45]	60
Fig. 51 Tubería de PVC	61
Fig. 52 Tanque solución nutritiva	62
Fig. 53 Tanque reguladores PH y Conductividad.....	62

INDICES

Fig. 54 Características tanque reguladores PH y Conductividad	63
Fig. 55 Características bomba NOVA MA-MNA.....	64
Fig. 56 Características Bomba sumergible HIDROBEX XKS-750S.....	65
Fig. 57 Características bomba EB-305	66
Fig. 58 Características agitador MEDINOX HAT	66
Fig. 59 Características ventilador MULTIFAN T4E45DAM80100.....	67
Fig. 60 Características calefactor DRACO15.....	68
Fig. 61 Características sensor de temperatura TITEC.....	69
Fig. 62 Características Sensor de nivel por ultrasonidos	70
Fig. 63 Características sensor de PH.....	70
Fig. 64 Ejemplos de controladores lógicos programables.....	71
Fig. 65 CPU 1513-1 PN	72
Fig. 66 Modulo de E/S digitales DI 16x24v/DQ 16x24v	72
Fig. 67 Modulo de E analógicas AI 8xI	73
Fig. 68 HMI TP1200 Comfort	74
Fig. 69 Selector automático/manual	76
Fig. 70 Seta de emergencia	76
Fig. 71 Relé térmico TeSys LR2K	77
Fig. 72 Contactor TeSys CAD323	77
Fig. 73 Fuente de alimentación SITOP 10 A.....	80
Fig. 74 Software TIA PORTAL V15	94
Fig. 75 Selección de CPU	95
Fig. 76 Selección de HMI	95
Fig. 77 Módulos digitales y analógicos	96
Fig. 78 Configuración general del sistema	96
Fig. 79 Conexión PLC-HMI	97
Fig. 80 Organigrama programa.....	97
Fig. 81 Entrada digitales Físicas	99

Fig. 82 Salidas digitales físicas	100
Fig. 83 Entradas analógicas físicas	100
Fig. 84 Entradas digitales.....	101
Fig. 85 Variables HMI	102
Fig. 86 Variables Sensores	103
Fig. 87 UDT Sensado.....	103
Fig. 88 Variables RTC	104
Fig. 89 UDT RTC.....	105
Fig. 90 Flyer de inicio	131
Fig. 91 Cabecera	131
Fig. 92 Activación agitador.....	135
Fig. 93 Activación bomba.....	136
Fig. 94 Fin de riego	137
Fig. 95 Control por sensor de PH/CE.....	137
Fig. 96 Gráfico PH y CE.....	138
Fig. 97 Control por sensor de nivel.....	138
Fig. 98 Control temperatura Modo manual	139
Fig. 99 Control temperatura Modo automático	140
Fig. 100 Valor sensor superior al limite.....	140
Fig. 101 Valor sensor inferior al limite	141
Fig. 102 Grafico de temperatura	141

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Funcionalidad nutrientes fundamentales desarrollo planta[30]	35
Tabla 2 Ejemplos de conductividad eléctrica en plantas[33]	40
Tabla 3 Dimensiones invernadero	56
Tabla 4 Características tipo de cubierta[43]	57
Tabla 5 Características lechuga romana	58
Tabla 6 Intensidades admisibles al aire 40°C. N.º de conductores con carga y naturaleza de aislamiento.	83
Tabla 7 Valores de conductividad eléctrica del cobre y aluminio	85

1. RESUMEN

El objetivo del presente proyecto consiste en la realización del diseño, dimensionamiento y desarrollo de un sistema automático que permita realizar el control de riego y temperatura de un invernadero destinado al cultivo hidropónico de lechuga, ubicado en el municipio de Ricla, concretamente situado en la comarca de Valdejalón.

Es por ello por lo que deberán seleccionar y conocer las diferentes características de las que constan los cultivos hidropónicos, tipologías y componentes necesarios que permitan hacer del cultivo un sistema completamente autónomo y optimizado.

Para ello se hará uso de un autómata programable (PLC) S7-1513PN de la marca SIEMENS con el que poder automatizar y controlar cada uno de los elementos y parámetros de los que consta el cultivo. La adquisición de los datos e interpretación de los mismos, se realizará por medio de sensores y actuadores interconectados con el sistema de control o PLC.

1.1. PALABRAS CLAVE

- Hidroponía
- Sistema hidropónico NFT
- Automatización PLC.
- Diseño SCADA

2. ABSTRACT

The objective of this project is to carry out the design, sizing and development of an automatic system that allows the irrigation and temperature control of a greenhouse intended for the hydroponic cultivation of lettuce, located in the municipality of Ricla, specifically located in the region of Valdejalón.

This is why they must select and know the different characteristics that hydroponic crops consist of, typologies and necessary components that allow making the crop a completely autonomous and optimized system.

To do this, a SIEMENS brand S7-1513PN programmable controller (PLC) will be used to automate and control each of the elements and parameters that make up the crop. Data acquisition and interpretation will be carried out through sensors and actuators interconnected with the control system or PLC.

2.1. KEYWORDS

- Hydroponics
- NFT hydroponic system
- PLC Automation.
- SCADA design

AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo se cierra una intensa etapa de aprendizaje a nivel académico, profesional y en especial personal.

En primer lugar me gustaría agradecer a mi tutor, Pedro Huerta Abad por su disponibilidad durante todo el proyecto, ya que en cualquier momento me ha permitido resolver cualquier duda que haya podido tener de forma rápida y clara. Destacar de igual manera la labor y la actitud del profesorado, permitiendo llevar a cabo la realización de este proyecto, además de resolver una gran cantidad de dudas durante la carrera.

Agradecer a la Escuela Universitaria Politécnica La Almunia (EUPLA), por haber proporcionado, no solo los conocimientos requeridos para la realización de este proyecto, sino también por las experiencias aportadas durante toda la carrera, permitiéndome conocer a grandes personas y amigos durante el proceso.

También me gustaría realizar un agradecimiento especial a la figura de Natalia Mateo Moros por su apoyo incondicional durante toda mi trayectoria, no tan solo académica, sino también personal, a través de su colaboración, preocupación insistencia y perseverancia durante todos estos años, permitiendo, tras mucho tiempo, poner fin a este proyecto. Es por ello por lo que le dedico este trabajo fin de grado.

Por último me gustaría realizar un último agradecimiento, a las dos personas que llevan acompañándome durante toda mi vida, a mis padres Marisol Moreno y Antonio Ramón, quienes han hecho de mi ser lo que soy hoy, quienes pese tras haberles defraudado en múltiples ocasiones, han seguido apoyando incluso en los momentos más difíciles de mi vida y quienes de no ser por ellos hoy no habría podido finalizar este trabajo fin de grado y permitirme cumplir aquellos sueños y objetivos ya cumplidos, y sobre todo, aquellos que todavía están por cumplirse.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria en cuestión se encuentra dividida en cinco capítulos. El primer capítulo es la introducción donde se presenta la estructura de la memoria en cuestión, así como de los motivos y objetivos por los que se ha decidido hacer este proyecto.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico en donde se hará especial hincapié en los conceptos teóricos de las diferentes ramas de conocimiento necesarias para la realización del proyecto.

El tercer capítulo corresponde al método operativo en donde se detallará la metodología utilizada para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, haciendo especial hincapié en el apartado práctico del proyecto (realización de planos, cálculos, programación, etc.)

El cuarto y último capítulo corresponde al apartado de conclusiones donde, de forma tanto subjetiva como objetiva se valorarán los resultados obtenidos en el proyecto en cuestión y donde se realizará una valoración final del mismo.

3.2. MOTIVACIÓN

Debido al incipiente crecimiento demográfico a nivel mundial que se ha producido durante los últimos años, ha hecho que la falta de alimentos se convierta en uno de los grandes problemas del siglo XXI, principalmente en aquellos países que presentan una dura climatología o se encuentran en una complicada situación de pobreza.

Sumado a esto, la pandemia provocada por la covid-19 ha provocado que los planes de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) por reducir la falta de alimentos, se vean retrasados de forma considerable.

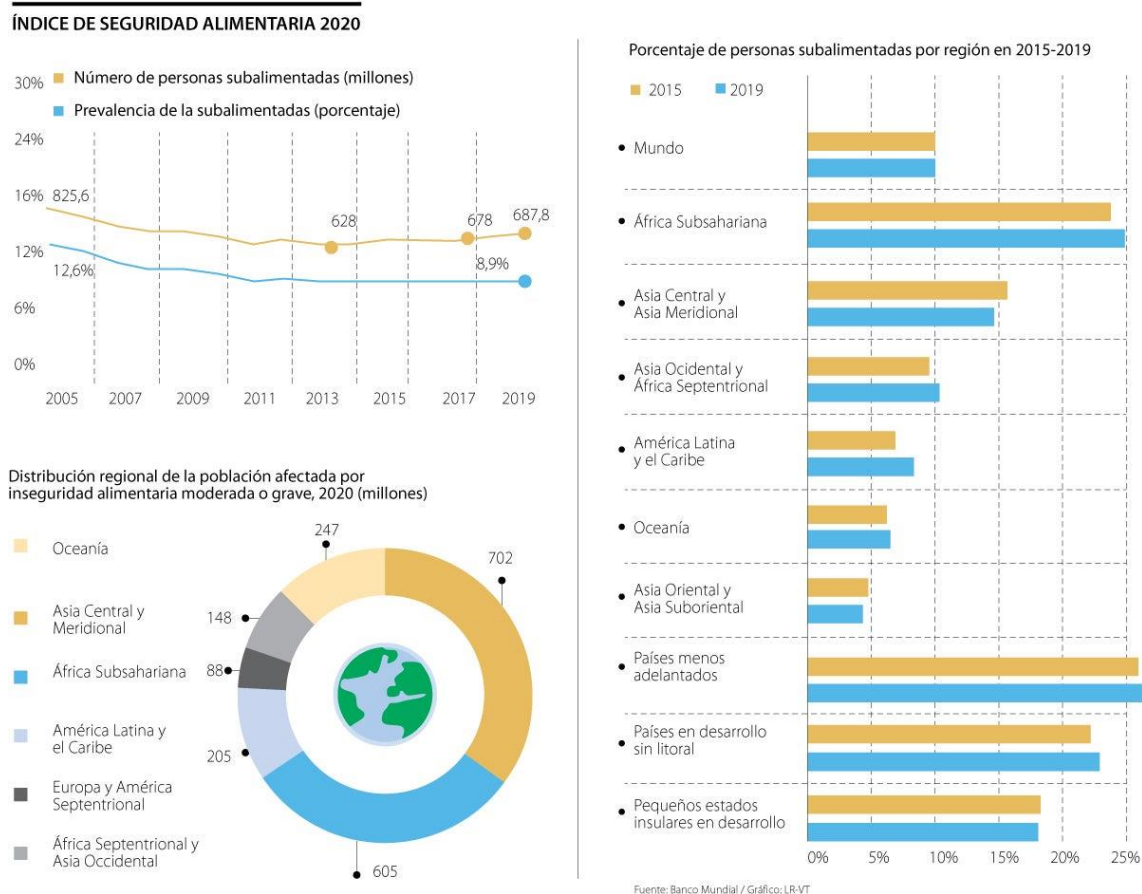


Fig. 1 Índice de inseguridad alimentaria en el mundo [1]

De acuerdo con el documento, cerca de 690 millones de personas padecen hambre en el mundo, es decir, 8,9% de la población mundial, aunque en estos últimos años se estima que el porcentaje suba un 1%. Por su lado, las estimaciones del Banco Mundial señalan que 233 millones de personas sufrieron por inseguridad alimentaria al finalizar 2020, lo que deja ver el altísimo riesgo de caer en hambre.

Por otro lado, el número de personas afectadas por la inseguridad alimentaria grave, otra medida que calcula el hambre de manera aproximada, muestra una tendencia ascendente similar. Por ejemplo, en 2019, cerca de 750 millones de personas, o casi una de cada 10 personas en el mundo, se vieron expuestas a niveles graves de subalimentación.[1]

Es por ello por lo que se ha empezado a plantear la posibilidad de realizar cultivos capaces de producir alimento en el menor tiempo posible y en espacios reducidos. Para hacer frente a este problema surge la hidroponía, un método de cultivo capaz de cultivar plantas sin la necesidad de utilizar la tierra como principal

Introducción

medio de crecimiento. En su lugar se abastece a la planta con el agua y los nutrientes necesarios para permitir su correcto crecimiento.

Teniendo en cuenta el amplio grado de automatización con el que cuenta el mundo en la actualidad, a partir de la combinación de ambas vertientes, se pueden conseguir resultados excepcionales en lo que respecta a calidad, precio y tiempo.

Entre las ventajas más significativas de los cultivos hidropónicos destacan:

- Ahorro considerable de agua
- Cultivo de plantas en situaciones climatológicas desfavorables
- Cultivos de alta calidad y de mayor tamaño frente a cultivos convencionales
- Ahorro de abonos y fertilizantes
- Escaso uso de herbicidas
- Escasez de plagas
- Cultivo de plantas fuera de temporada
- Permite una mayor rotación de cultivo

Es por este motivo por lo que se ha decidido llevar a cabo la realización de este trabajo de fin de grado, ya no solo por la capacidad de poder reducir el hambre en el mundo sino también por la formación y crecimiento de un ser vivo como puede ser una planta y su gran contribución a la reducción de la huella de carbono, que, sumado a los conocimientos adquiridos durante la carrera, hacen del mismo un proyecto atractivo para el desarrollo personal del alumno

3.3. OBJETIVOS

Los objetivos principales que se pretenden conseguir con la elaboración de este proyecto son los siguientes:

- Realizar un estudio sobre el estado del arte con el que poder entender la evolución y la incorporación de los sistemas de automatización en los cultivos hidropónicos.
- Identificar el método de cultivo adecuado para el desarrollo del proyecto en cuestión.
- Identificar el tipo de planta más favorable.
- Realizar el dimensionamiento de la instalación
- Seleccionar los componentes necesarios para la realización del cultivo
- Realización del programa del PLC
- Realización de SCADA

3.4. ANTECEDENTES

La idea de cultivar plantas dentro de un entorno controlado se ha convertido en uno de los temas más relevantes en los últimos tiempos, dada su gran capacidad para albergar y producir una gran cantidad de plantas en las mejores condiciones posibles.

Es por ello por lo que se pasaran a hacer referencia a dos importantes vertientes:

3.4.1. *Invernaderos*

Los primeros documentos establecen que el ser humano comenzó a realizar cultivos bajo estructuras durante la época romana, concretamente durante el reinado del emperador Tiberio Cesar ya que sus médicos le recomendaron realizar el consumo de una pieza de pepino diaria. La estructura constaba de varias láminas de mica y alabastro como material de acerramiento, además de erguirse sobre unas plataformas hechas de marcos sobre ruedas permitiendo de este modo desplazarla al exterior en aquellos casos en los que el tiempo era propicio y recogerla en aquellos en los que era desfavorable.

Del mismo modo, reportes establecen que durante la dinastía Joseon en Corea, surgen los primeros invernaderos en contar con un sistema de calefacción de forma artificial. El sistema en cuestión contaba con lo que en corea se denominan "onzo/" el

Introducción

cual se introducía debajo de la tierra permitiendo de este modo afrontar los fríos inviernos.

Tras la caída del imperio romano, los primeros invernaderos modernos serían construidos durante el siglo XVI en Italia permitiendo a los exploradores de todo el mundo plantar sus plantas de carácter exótico. Originariamente fueron llamadas "*giardini botanici*".

Con el tiempo el concepto llegaría a países como Holanda e Inglaterra, aunque estos invernaderos contarían con diversos problemas para poder cerrarlos por las noches y durante el invierno. Ha estos últimos se les denominaba "*conservatories*" ya permitían conservar las plantas en su interior. Por el contrario, en países como Francia se les pasó a llamar "*orangeries*" ya que permitían resguardar a las naranjas de las fuertes heladas. Los invernaderos de Chelsea Physic Garden (Reino Unido) y el jardín del Palacio de Versalles, son unos buenos ejemplos para la época.

Con los avances en la experimentación, la botánica y la industria durante el siglo XIX, se empezaron a construir estructuras con vidrio y metales permitiendo reducir los tiempos de producción y de construcción. Entre los claros ejemplos podemos encontrar los invernaderos de Kew Gardens (Inglaterra), Crystal palace (Inglaterra y Estados Unidos) y el Glaspalast (Munich).



Fig. 2 Kew Gardens Reino Unido [2]



Fig. 3 Crystal palace Londres[2]

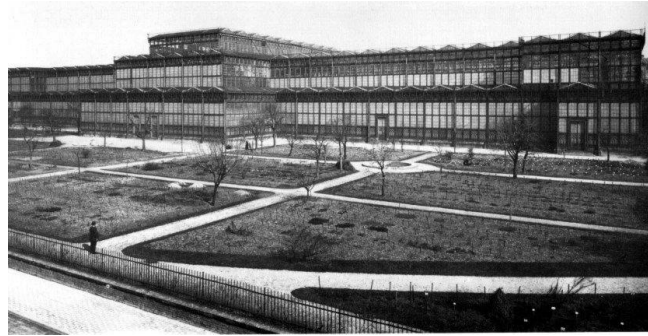


Fig. 4 Glaspalast Munich[3]

Ya en el siglo XX, tras la segunda guerra mundial, se impulsaría la construcción de invernaderos de cristal destinado al cultivo de tomate, principalmente en Holanda debido a creciente impulso económico de la época.

Finalmente, con la llegada de los plásticos en la década de los 60, permitiría que la construcción de los invernaderos fuera mucho más asequible económicamente, además de permitir reducir de forma acentuada la velocidad de producción y de construcción además de contribuir de manera favorable con el medio ambiente.

3.4.2. Hidroponía

Documentos afirman que los primeros indicios de la práctica de la hidroponía se desarrollan en la antigua Mesopotamia, como consecuencia de la construcción de los Jardines colgantes de Babilonia establecida como una de las siete maravillas del mundo antiguo. Para permitir el desarrollo de plantas, la construcción constaba de diversas norias las cuales permitían canalizar el agua desde pozos o desde el propio río Éufrates.



Fig. 5 Jardines colgantes de babilonia[4]

Otras referencias indican que los aztecas fueron la primera civilización, en territorio americano, en usar la agricultura hidropónica como sistema de producción y de supervivencia. Debido a que sus vecinos les negaron su asentamiento sobre terreno cultivable, se vieron obligados a desplazarse hasta zonas pantanosas como es el Lago Tenochtitlán. Para preservar su supervivencia, desarrollaron estructuras denominadas chinampas (también denominados como Jardines flotantes) basadas en balsas formadas por cañas y/o palos sobre las cuales situaban los cultivos utilizando como nutrientes la tierra que dragaban del fondo del lago. Más tarde civilizaciones como China y Egipto desarrollarían sistemas similares de cultivo.



Fig. 6 Chinampas aztecas[5]

Con el paso del tiempo los cultivos se vuelven mucho más complejos como consecuencia de la curiosidad y la investigación de la mano de grandes figuras científicas de la antigüedad como son Aristóteles (384-322 A. C.), Teofrasto (327-287 A. C.) o Leonardo Da Vinci, (1452-1519). Pero no sería hasta el año 1600 cuando el belga Jan Baptista Van Helmont (1557-1644) demostraría que las plantas obtienen sustancias del suelo y del agua para su crecimiento.

Más tarde en el año 1627 Francis Bacon publicaría el primer trabajo sobre crecimiento de plantas sin suelo en el cual concluyo que las raíces de las plantas tenían como principal objetivo la absorción de nutrientes y agua. Sería más tarde cuando el naturalista, geólogo y anticuario, John Woodward (1665-1728), profesor de la Universidad de Cambridge, desarrollaría por error la primera solución nutritiva al cultivar menta en diferentes tipos de tierra disuelta. Del mismo modo el científico determino que el crecimiento de las plantas era mucho mejor en lo que denominaba como "tierra sucia" que en agua destilada.

Posteriormente en 1860 los científicos alemanes Sachs y Knop lograron aislar por completo la planta del suelo y la hicieron crecer por medio de una solución de elementos minerales, técnica conocida como nutricultura. Uno de los primeros éxitos verificable de la hidroponía ocurrió durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el Pacífico, en islas donde no había posibilidades de obtención de hortalizas y era extremadamente caro y riesgoso transportar las hortalizas desde el continente, pusieron en práctica cultivar hortalizas sin suelo, por métodos hidropónicos a gran escala basados en la utilización de agua salada y coco, para proveer de verduras frescas a sus tropas

Tras el fin de la Segunda Guerra mundial, las fuerzas aéreas americanas ubicadas en la isla de la ascensión se vieron obligadas a utilizar esta técnica debido a la dificultad que suponía alimentar a una gran cantidad de pelotones. No sería hasta la llegada de los plásticos, cuando la hidroponía sufriría un gran cambio permitiendo llegar a realizar cultivos muy sencillos y de muy bajo coste.

Finalmente existen grandes propuestas sobre el futuro de la hidroponía. Una de ellas es la destinada a la carrera espacial mediante el proyecto de investigación Veggie desarrollado por Orbital Technologies Corporation (ORBITEC) en 2013 con la que se pretende alimentar a una tripulación de astronautas por medio de la hidroponía.

El sistema está compuesto por una cámara de crecimiento de plantas plegable que se expande a 29.2 centímetros de ancho y 36.8 de alto, convirtiéndola en la más grande que se ha enviado al espacio; gracias a sus características este sistema

Introducción

hidropónico permite cultivar plantas pequeñas en el espacio exterior, además es de fácil almacenamiento y seguro de transportar.

Está integrado por tres módulos, el primero cuenta con luces LED de distintos colores (rojo, azul y verde) en la parte superior, que al iluminar a las plantas le ayuda a su crecimiento; posteriormente se encuentra un contenedor en la parte inferior que funciona como soporte para colocar el sustrato, éste permite mantener hidratados a los cultivos ya que está conectado a un depósito de agua y el tercer módulo está compuesto por una cubierta que protege los cultivos.

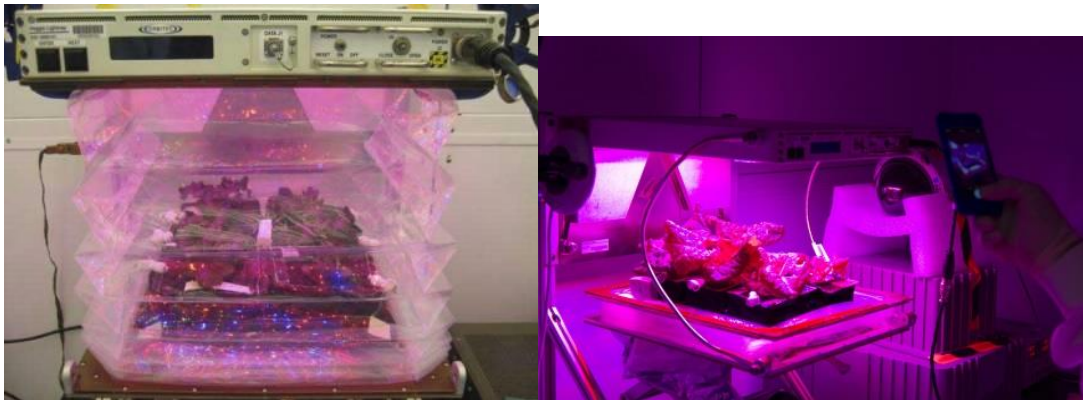


Fig. 7 Sistema Veggie[6]

4. MARCO TEÓRICO

4.1. HIDROPONÍA

4.1.1. Definición

La Hidroponía, se establece como un conjunto de técnicas que permiten el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La palabra hidroponía se deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor, trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua.

Para permitir que las plantas puedan desarrollarse de forma adecuada, la técnica hace uso de recursos hídrico-nutricionales los cuales son depositados de forma artificial en el cultivo, evitando de esta forma que el suelo forme parte del aporte de los nutrientes de la planta

4.1.2. Ventajas e inconvenientes

4.1.2.1. Ventajas

- Reducción de horas de trabajo sobre el cultivo
- No es necesaria la rotación de cultivos
- Balance hídrico, de oxígeno y de nutrientes
- Mejor desarrollo de las raíces
- Mayor ahorro de agua
- Menor probabilidad de plagas y uso de herbicidas
- Ausencia de malezas
- Escasa distribución de superficie para su desarrollo

4.1.2.2. Desventajas

- Inversión inicial alta
- Cuidado indispensable de la planta
- No es apto para todos los tipos de plantas
- Requiere un alto grado de conocimiento sobre fisiología y nutrición

4.1.3. Tipos de sistemas hidropónicos

Un sistema hidropónico, es aquel sistema de producción en el cual las raíces de las plantas son irrigadas con una solución nutritiva y en el que, en vez de suelo, se puede usar o no un sustrato. Dentro de los sistemas existen algunas variantes dependiendo del medio de cultivo en donde se desarrollan las raíces de las plantas.[7]

4.1.3.1. Cultivos en sustrato

Este tipo de sistemas hace uso de sustratos como medios de cultivo, entendido este último como material sólido distinto del suelo natural que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular, además de brindar a la planta de la oxigenación y de la humedad necesarias entre otros casos.

Según las propiedades y la naturaleza del sustrato estos se pueden clasificar en:

SEGÚN SUS PROPIEDADES QUÍMICAS:

- **Sustratos químicamente inertes:** actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante.
Ejemplos: Arena granítica o silíceas, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
- **Sustratos químicamente activos:** sirven de soporte a la planta, pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados.
Ejemplos: Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

SEGÚN EL ORIGEN DE LOS MATERIALES:

- **Materiales orgánicos.**
 - De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turberas).
 - De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (*espuma de poliuretano, poliestireno expandido, etc.*).

- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos
- **Materiales inorgánicos o minerales.**
 - De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso
 - Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos,
 - Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales

Dependiendo del tipo de contenedor y su disposición en el invernadero existen numerosas variantes, dentro de ellas podemos destacar las siguientes técnicas:

4.1.3.1.1. Macetas Bentley

Esta técnica de cultivo hidropónico desarrollada por el Dr. Maxwell Bentley se publicó por vez primera en 1974. En este sistema se emplean macetas rellenas con sustrato donde crece la planta.

Para proporcionar de sustentabilidad a la planta se hace uso de ladrillos huecos de hormigón. Para transportar la solución nutritiva desde el depósito hasta las macetas se hace uso de un sistema similar a los goteros el cual cuenta con unas boquillas que rocían la solución en ciertos intervalos de tiempo

Actualmente se utilizan bolsas de plástico en conjunto con el sistema de riego por goteo.



Fig. 8 Macetas Bentley[7]

4.1.3.1.2. Tubos verticales

Este tipo de sistema es muy frecuente dentro de la familia de la hidroponía o agricultura vertical como puede ser el sistema NFT entre otros. El sistema se encuentra formado principalmente por tubos de PVC o polietileno sobre los cuales se realizan perforaciones las cuales son rellenadas de sustrato.

La irrigación del sistema es a base de riego por goteo gracias a la ayuda de una bomba, mientras que la recirculación de la solución nutritiva se realiza por gravedad.



Fig. 9 Cultivo hidropónico de tubos verticales[8]

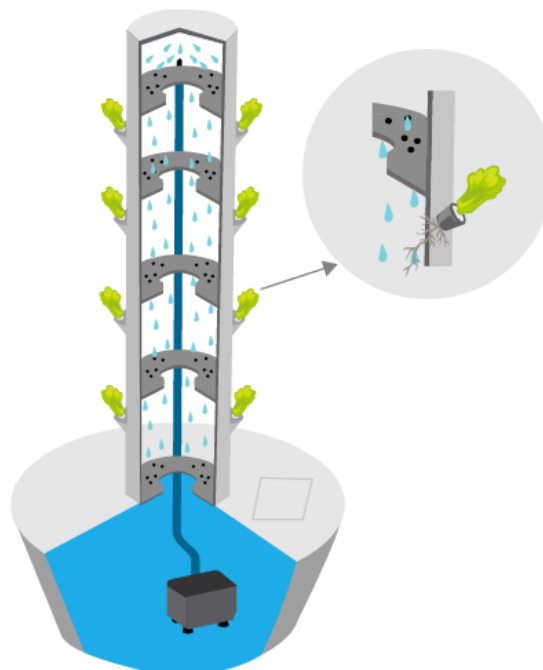


Fig. 10 Composición interna del sistema[8]

4.1.3.1.3. Bolsas de cultivo(slab)

Este tipo de técnica es originaria de Dinamarca y Suecia. Se utiliza principalmente para el cultivo de hortalizas y especies de alto valor comercial.

El sistema se basa en la utilización de bolsas de plástico rellenas con sustrato (generalmente de lana de roca, fibra de coco o espuma fenólica) dispuestas en hileras a lo largo del invernadero. El exceso de solución nutritiva es recolectado a través de canaletas.

Actualmente existen diferentes presentaciones de diferentes formas y volúmenes que van entre los 5 a 12 L dependiendo de la especie, el número de plantas y la distribución es que se elija para su cultivo.



Fig. 11 Cultivo en bolsas(slab)[7]



Fig. 12 Bolsa de cultivo con espuma fenólica[7]

4.1.3.2. Cultivos en solución

En este tipo de sistemas las raíces de las plantas se encuentran total o parcialmente sumergidos en una solución con los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento. Generalmente la oxigenación en este tipo de sistemas es favorable ya que no es necesario debido a que la solución se encuentra en movimiento.

A pesar de que en este tipo de sistemas se pueden obtener muy buenos resultados, así como diversas ventajas (ahorro de agua y fertilizantes) en este tipo de cultivos se presenta una gran problemática, el preciso control de cada una de las variables del sistema, así como de la solución nutritiva. Para favorecer el crecimiento de las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas, tales como:

- **Oscuridad para la solución nutritiva:** Para evitar la aparición de plantas acuáticas que puedan intervenir en la oxigenación de la planta a cultivar
- **Oxigenación:** Este es uno de los factores más importantes a tener en cuenta. La oxigenación de la planta se puede realizar mediante dos métodos:
 - **Forma artificial:** Para este método se hace uso de algún tipo de bomba permitiendo de este modo suministrar oxígeno a la solución. Otra forma consiste en hacer caer la solución desde cierta altura para que pueda oxigenarse correctamente.
 - **Forma natural:** Consiste en dejar un cierto espacio de aire entre la superficie de la planta y la parte inferior de la misma. De esta forma la parte superior de la planta estas rodeada de aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución
- **Circulación de la solución nutritiva:** Necesario para favorecer la distribución de los iones nutritivos en la instalación
- **Calentamiento:** Es importante tener en cuenta este aspecto ya que la solución nutritiva no contiene ninguna capacidad de amortiguamiento frente a cualquier variación de la temperatura.
- **Soporte para las plantas**

Dependiendo del funcionamiento del sistema de cultivo en solución podemos encontrar los siguientes tipos:

4.1.3.2.1. *Cultivo en balsa*

Fue desarrollado por W.F Gericke (1929). El sistema consiste principalmente en un tanque recubierto de un material impermeable sobre el cual se introduce la solución nutritiva.

Del mismo modo se utilizar una malla para permitir alojar a la planta que se desea cultivar y sobre esta se añade algún tipo de sustrato (virutas, hebras de madera, aserrín, etc.) para proporcionar soporte a la planta además de impedir que la luz alcance la solución pudiendo a llegar a provocar problemas sobre la misma.

Finalmente, la oxigenación del sistema se realiza de forma natural ya que las pequeñas perforaciones situadas en la parte superior favorecen la entrada del mismo.



Fig. 13 Cultivo en balsa [9]

4.1.3.2.2. Aireación forzada

Fue desarrollado por H.F Hollis (1964). El funcionamiento del sistema es similar al realizado por Gericke, solo que esta situación, la aireación del sistema se realiza de forma artificial por medio de una bomba a través de un tubo de cobre o plástico el cual recorre el fondo del tanque burbujeando las perforaciones



Fig. 14 Sistema de aireación forzada[10]

4.1.3.2.3. Aireación en cascada

Fue desarrollado por Pennigsfeld y Kurzmann (1975). El principio de funcionamiento con respecto a los sistemas anteriormente mencionados es similar. La principal diferencia reside en que la solución es transportada por medio de una bomba y descargada nuevamente sobre el tanque desde una cierta altura para permitir una mejor oxigenación de la solución



Fig. 15 Método de aireación por cascada[11]

4.1.3.2.4. *Flujo profundo*

Fue desarrollado por Jensen, Collins y Massantini. Este tipo de metodología se suele aplicar dentro de un enfoque más industrializado. El sistema consta de un tanque horizontal de forma rectangular revestido en plástico sobre el cual las raíces de las plantas a cultivar flotan. La solución nutritiva es monitoreada y recirculada para permitir la correcta oxigenación del sistema.

Para permitir la flotabilidad de las plantas se utiliza una lámina perforada de unisel o plástico de bajo espesor permitiendo de este modo facilitar el transporte y el aporte de luz sobre las plantas que se desean cultivar



Fig. 16 Sistema hidropónico de flujo profundo [7]

4.1.3.2.5. *NFT*

La técnica de la solución nutritiva recirculante también conocida como NFT (Nutrient Film Technique) fue desarrollada por el Dr Allan Cooper en la década de los sesenta en Inglaterra. A partir de esta época, este sistema de cultivo se ha destinado principalmente al desarrollo de cultivos de alta calidad en zonas limitantes de suelo o de alto impacto demográfico[12].

Este sistema se basa en el flujo permanente de la solución nutritiva, la cual es bombeada hacia el extremo más alto de cada canal y por gravedad hidrata cada una de las raíces de las plantas hasta que finalmente es recogida nuevamente en el tanque colector. Del mismo modo es necesario realizar un análisis químico periódico de la solución en caso de cualquier ausencia o problema de la misma.[7]

Marco Teórico

Dentro de las ventajas de la aplicación de este sistema podemos destacar:

- Control preciso de la nutrición de la planta
- No requiere de esterilizaciones
- Maximización del contacto de las raíces con la solución nutritiva
- Permite obtener cultivos de alta calidad
- Máximo control sobre el agua y los nutrientes
- Operación del cultivo de forma automática

Dentro de las desventajas que presenta este tipo de sistema podemos destacar:

- Elevado coste de la energía
- Comprobación frecuente de la solución nutritiva (CE, PH, etc.).
- Alto grado de conocimiento para operación del cultivo

Dentro de los componentes necesarios para la instalación del sistema NFT caben destacar:

- **Tanque colector:** Se utiliza para almacenar la solución nutritiva durante el cultivo. Generalmente suele estar fabricado de PVC, polietileno, fibra de vidrio o metal pintado. El volumen del tanque está determinado por la superficie del cultivo. La inyección de los fertilizantes se realiza directamente sobre el tanque por medio de otros depósitos encargados de albergar la solución en cuestión
- **Bomba:** Es la encargada de realizar la distribución de la solución nutritiva por todo el sistema. Esta deberá situarse lo más próxima al tanque colector:
- **Tuberías de distribución:** Son las encargadas de realizar el transporte de la solución nutritiva. Generalmente suelen estar compuesta de PVC. Dado que el caudal a manejar dentro de este tipo de cultivos es relativamente bajo, generalmente el diámetro de las mismas no suele superar la pulgada
- **Canales de cultivo:** Es la principal estructura portante sobre la que circula la solución nutritiva, además de servir como soporte para las plantas. Dado que la altura de la solución dentro del canal no supera los 40 mm generalmente se utilizan canales de sección plana.

- **Tubería colectora:** Es la encargada de recoger la solución nutritiva al final de los canales de cultivo y llevarla nuevamente al tanque colector. Generalmente suelen ser de PVC y deben tener una cierta pendiente para favorecer la circulación de la solución hacia el tanque.

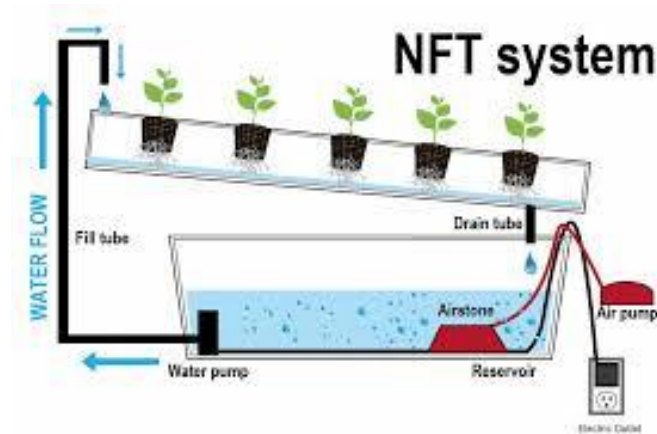


Fig. 17 Funcionamiento de sistema NFT[13]



Fig. 18 Sistema hidropónico NFT[14]

4.1.3.2.6. NGS

La técnica de cultivo NGS (New Growing System) fue desarrollada en Almería (España) en 1991 por la empresa que da nombre a esta misma técnica. Desde su aparición se ha extendido a otros países dentro de los que destacan: Chile Ecuador, Francia, Grecia, Italia y México.

El sistema NGS se basa en la circulación de una solución nutritiva, por el interior de un conjunto de bolsas de polietileno, colocadas una dentro de otra. La disposición de las bolsas, se hace de tal forma, que la solución nutritiva, después de recorrer un tramo de la bolsa, más o menos largo según los diferentes modelos, pasa o cae a la siguiente, por medio de unos agujeros o taladros, troquelados en la parte inferior o en las caras laterales de dichas bolsas.

Desde el momento en que es liberada por el sistema de goteo, hasta que alcanza la última bolsa (denominada colectora), la solución nutritiva recorre un largo camino. Es a lo largo de este camino, cuando la solución nutritiva recirculante, pone a disposición de las raíces agua, nutrientes y oxígeno. [15]

El sistema NGS ofrece una gran cantidad de ventajas que se resumen en: Precocidad, calidad, rendimiento y respeto al medio ambiente. De forma más detallada, estas ventajas son:[16]

1. Es un sistema hidropónico puro que no precisa de ningún sustrato; además, es económico, fácil de instalar y se adapta a cualquier tipo de explotación.
2. Permite obtener altas producciones de excelente calidad y mayor precocidad. Las plantas trabajan de forma eficiente desde el mismo día de su instalación en el sistema.
3. Ha sido desarrollado para trabajar en circuito cerrado ahorrando agua y nutrientes, permitiendo reutilizar el cien por cien de los drenajes.
4. Mantiene la raíz perfectamente aireado y admite la incorporación de cualquier sistema de desinfección.

5. El sistema resulta atractivo por varias razones:
- Permite la inspección rápida de la raíz;
 - Conduce a un proceso de producción limpio;
 - Permite realizar el cambio de cultivo con gran rapidez e higiene
 - Se adapta a cualquier tipo de explotación o cultivo hortícola



Fig. 19 Cultivo hidropónico mediante NGS



Fig. 20 Tipos de bolsas NGS

4.1.3.3. Aeroponía

Fue desarrollado por Massantini. El término aeroponía se deriva de los términos griegos de *aero* y *ponos* que significan aire y trabajo, permitiendo de este modo cultivar plantas dentro de un entorno aéreo por medio de agua nebulizada sin la necesidad de utilizar suelo.

Su principio de funcionamiento se basa en hacer crecer a las plantas dentro de un entorno cerrado o semicerrado pulverizando agua desde un tanque por medio de una bomba con nebulizadores o aspersores sobre las raíces de las plantas las cuales se encuentran colgando sobre la estructura portante. La solución sobrante es recogida y conducida al tanque de reserva.

La principal ventaja que presenta este tipo de sistema es la oxigenación con la que cuentan las raíces de las plantas, que es uno de los factores limitantes de la hidroponía

Dentro de las desventajas que presenta este tipo de sistemas destaca el alto grado de control técnico que se requiere ya que las raíces requieren de un sistema de riego continuo.



Fig. 21 Cultivos aerológicos[7], [17]

4.2. CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Dentro del cultivo hidropónico, la planta juega el papel más importante. Es por ello que conocer sus características y sus requerimientos permitirán un control óptimo del crecimiento de la planta permitiendo de este modo obtener alimentos de alta calidad.

Cualquier planta que crezca en la tierra, puede ser cultivada de manera hidropónica (en el caso de grandes árboles se requeriría de un mayor espacio, así como de una gran cantidad de agua y nutrientes) aunque por norma general se suelen cultivar plantas con un alto valor comercial, generalmente por sus altos aportes alimenticios. De entre ellas cabe destacar:[7]

- Hortalizas:
 - Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, arúgula, berros.
 - Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.
 - Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa...
- Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro, perejil.
- Ornamentales: Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilis, gerberas, etc.

4.2.1. *Cultivo de lechuga [18]*

Como se comentó en el apartado de objetivos, se pretende desarrollar un sistema hidropónico para el cultivo de lechugas.

El origen de la lechuga es todavía algo incierto, aunque fuentes afirman que su área de origen se ubicaría entre los ríos Éufrates y Tigris en Mesopotamia.

Su gran facilidad para poder ser cultivada, la llevarían a recorrer el antiguo imperio egipcio, griego, romano y chino proporcionando una gran estabilidad alimenticia además de utilizarse por sus propiedades medicinales.

No sería más tarde cuando en el siglo XV fuera introducida en Europa por las características anteriormente mencionadas.

Desde el siglo xx hasta la actualidad son diversos los tipos de lechugas y cientos de cultivos los que se obtienen a través de mejoras genéticas

A continuación, se muestra un pequeño resumen sobre las variedades de lechugas más comunes dentro del cultivo hidropónico

4.2.1.1. Tipos de lechuga

4.2.1.1.1. Lechuga tipo iceberg

Dentro de este tipo de lechugas también se encuentran la Batavia y Eissalat. Se caracterizan por formar un cogollo o cabeza apretada. Su peso oscila entre los 500gr y 1Kg. Gracias a sus grandes hojas, son muy resistentes al daño mecánico y algunas enfermedades, permitiendo su transporte a grandes distancias. Como posee un periodo de cultivo más prolongado que la de trocadero, se produce generalmente en el suelo. Se utiliza preferentemente en ensaladas y sándwiches



Fig. 22 Cultivo de lechuga iceberg[19]



Fig. 23 Lechuga iceberg[20]

4.2.1.1.2. *Lechuga tipo española o trocadero*

Esta lechuga también denominada Mantecosa, Butterhead o Boston forma una cabeza o cogollo suelto. Su peso oscila entre los 200 y 800gr. Se cultivan principalmente en los días cálidos de otoño y los días frescos de primavera a principios de verano. Presentan un periodo corto de producción, por lo que suelen cultivar en el suelo o en hidroponía. Sus hojas son grandes, envolventes, suaves, tiernas y aceitosas siendo frágiles al transporte.



Fig. 24 *Lechuga trocadero o española*[21]

4.2.1.1.3. *Lechuga tipo hoja de roble y Salad bowl*

La denominación de lechugas hojas de roble, se origina por su similitud con las hojas de roble. Se caracterizan por no formar cogollo ni cabeza. Presentan un corto periodo de crecimiento y gran atractivo con hojas muy suaves. Son alimentos gourmet muy apreciados. Además, gracias a su corto periodo de producción se suelen producir en hidroponía.



Fig. 25 *Lechuga hoja de roble*[22]

4.2.1.1.4. Lechuga tipo Lollo

Se pueden distinguir dos tipos, Lollo Rossa y Lollo Bionda. Son las más utilizadas dentro del cultivo sin suelo junto a las de tipo Trocadero. Se caracterizan por no presentar cabeza ni cogollo con hojas de bordes rizados y lamina ondulada. Son de corto periodo de crecimiento llegando a obtener colores intensos especialmente en épocas frías. Su peso suele rondar los 300 y 400gr.



Fig. 26 Lechuga Lollo[23]

4.2.1.1.5. Lechuga tipo cogollo o Little Gem

Este tipo de lechuga es de tamaño pequeño. Suele formar una roseta atractiva y luego un cogollo ancho y compacto de color verde oscuro. Las hojas son muy brillantes con bordes lisos semi-ondulados. Su peso aproximado es de 80gr.



Fig. 27 Lechuga Little gem[24]

4.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Para conseguir un cultivo óptimo de las plantas que se desean cultivar es necesario tener en cuenta los siguientes factores climáticos:

4.3.1. *Temperatura*

Se entiende por temperatura como aquella magnitud física que permite determinar la energía interna de un objeto, cuerpo o medio ambiente. [25]

La temperatura óptima debe oscilar entre los 18-25 °C para que la planta pueda crecer correctamente y dar su fruto. Por debajo o por encima de esta temperatura óptima la planta no se consigue desarrollar adecuadamente y es posible que el cultivo no realice su ciclo biológico normal y no alcance su máximo potencial de rendimiento.

Además, la temperatura interviene en ciertas funciones como por ejemplo la apertura o cierre de las estomas, que son imprescindibles en los procesos vitales de la fotosíntesis, transpiración y respiración de la planta.

Las heladas destruyen a las especies de estación cálida. Se acepta generalmente que el riesgo de que la temperatura descienda por debajo de cero durante un período suficientemente largo, para destruir los cultivos, puede despreciarse si la temperatura mínima media mensual excede de 7° C.

Las temperaturas por debajo de 10 a 12 °C, durante una serie de días consecutivos, no destruyen los cultivos, pero afectan a su comportamiento y condicionan la productividad, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Por el contrario, aquellas que se encuentran por encima de 30 °C o por encima de 35°, si la humedad relativa es alta, no son fácilmente toleradas por las plantas y causan daños extensivos en las cosechas.[26]

4.3.2. Luz

La luz es esencial para las plantas debido a que proporciona la energía necesaria para la fotosíntesis. La clorofila y los demás pigmentos fotosintéticos captan la energía contenida en diferentes radiaciones para incorporarla a las diversas reacciones químicas que constituyen el proceso. [27]

Pero la luz también puede intervenir en otros procesos fisiológicos, como el fototropismo, la germinación, la floración, todos estos fenómenos no son producidos en igual medida por todos los tipos de luz, sino que algunas radiaciones concretas tienen un efecto notable mientras que otras tienen poco o ningún efecto.

Cada especie requiere de una cantidad específica de radiación luminosa para desarrollar la fotosíntesis y expresar su potencial productivo. Por valores inferiores a 50.000 lux las plantas tienden a alargarse y a formar ramas débiles. Por el contrario, si la luminosidad es superior a los 100,000 lux se puede producir una disminución fotosintética de la planta, llegando a presentar tallos más duros y hojas arrosadas.[7].

4.3.1. Humedad relativa

Se entiende por humedad relativa la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. De la misma forma, la humedad relativa está estrechamente relacionada con la humedad absoluta (cantidad de vapor de agua por m³ de aire) y el punto de saturación (cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire a una determinada temperatura).

La humedad relativa en un invernadero es un factor climático que se relaciona con la transpiración, y es imprescindible para que el intercambio gaseoso y la fotosíntesis se pueda llevar a cabo. Dependiendo de la especie, los niveles de humedad más favorables para el desarrollo de los cultivos se encuentran entre el 50%-75%, y salirse de estas condiciones ideales de humedad puede provocar efectos adversos sobre el rendimiento de los cultivos.

Dentro de los efectos negativos que podemos encontrar, destacan:

- Humedad relativa alta:
 - El exceso de humedad reduce la transpiración, lo que disminuye la absorción de nutrientes y afecta al crecimiento de la planta.
 - Además, dificulta la polinización y favorece la propagación de plagas y enfermedades.
- Humedad relativa baja:
 - El déficit de humedad hace que la planta tenga que hacer un sobreesfuerzo por mantener las estomas abiertas, y esto puede ocasionar que se marchite por deshidratación.
 - También afecta a la producción, pues hay una pérdida de calidad del fruto y un menor cuaje.

4.3.2. *Dióxido de carbono*

El CO₂ es esencial para que se produzca la fotosíntesis en las plantas. El aporte de CO₂ es muy importante para el correcto desarrollo del cultivo, además del agua y la luz.

Al aumentar la concentración de CO₂ se incrementa la actividad fotosintética, lo que se traduce en un aumento de la precocidad, el rendimiento, la producción (del orden del 15-25%) y la calidad de la cosecha. Para que se produzca una buena asimilación del CO₂, el factor más importante es la radiación solar, aunque también influyen la ventilación, la temperatura y humedad.

Para que la planta cuente con un desarrollo óptimo durante su crecimiento el nivel de CO₂ debe oscilar entre 700 y 1000 ppm. Los niveles que se encuentren por debajo de estos límites harán que la planta se desarrolle de una forma mucho más lenta, mientras que por el contrario si la planta se encuentra por encima de este margen, se puede apreciar un incremento considerable de la planta.

Teniendo en cuenta las variables climáticas, se puede corregir la dosificación de CO₂ en función de la radiación, temperatura, humedad, velocidad del viento, etc.... gracias a la monitorización del cultivo a través de sensores y equipos de control climático [28, p. 2]

4.3.3. Viento

El viento influye en las plantas de diversas maneras, sus efectos sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta varían según su duración y velocidad, especie a cultivar y características de las hojas, o por las interacciones entre la planta y la atmósfera entre otros factores.

Los efectos causados por el viento pueden ser clasificados como directos o indirectos.:

- **Los directos:** incluyen el movimiento de la planta, el daño físico de hojas y frutos, aborto de flores, la rotura de ramas, el vuelco o descalzado cuando la fuerza ejercida por el viento excede la resistencia del tallo o de la raíz.
- **Los indirectos:** son aquellos por los cuales los efectos son producidos por arena o suelo transportados por el viento o por otros factores meteorológicos, como la lluvia y el viento.

El viento además del efecto directo debido al movimiento del follaje altera localmente las condiciones atmosféricas alrededor de las hojas individualmente y dentro del canopeo.[29]

4.4. FACTORES INFLUYENTES EN EL CRECIMIENTO

4.4.1. Solución nutritiva

Se entiende por solución nutritiva como aquel medio acuoso en el cual se encuentran disueltos los nutrientes esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y es la vía principal de nutrición de cultivos en hidroponía y sustratos

Los elementos esenciales que permiten que la planta se encuentre con vida son los siguientes:

- Macronutrientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S
- Micronutrientes: B, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Si, Co, Ni.

Para que la solución nutritiva no perjudique al crecimiento de las plantas, la misma se deberá de encontrar con un nivel de pH entre 5.5 y 6.5

La funcionalidad de cada uno de los nutrientes se puede apreciar en la siguiente tabla:

Nutrientes	Función
<u>Nitrógeno (N)</u>	Forma parte de los aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.
<u>Fósforo (P)</u>	Constituye enzimas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, glucosa y ATP.
<u>Potasio (K)</u>	Activador de enzimas y síntesis de proteínas.
<u>Calcio (Ca)</u>	Actúa como regulador del transporte de carbohidratos y forma parte de la estructura de la pared celular.
<u>Magnesio (Mg)</u>	Parte esencial de la molécula de clorofila.
<u>Azufre (S)</u>	Se constituye de aminoácidos y proteínas.
<u>Hierro (Fe)</u>	Encargado de la síntesis de clorofila y como portador de electrones en la fotosíntesis.
<u>Zinc (Zn)</u>	Necesario para la formación de ácido indolacético.
<u>Manganeso (Mn)</u>	Participa en la producción fotosintética de oxígeno a partir del agua y forma parte en la formación de clorofila.
<u>Cobre (Cu)</u>	Se involucra en la formación de la pared celular y es parte de algunas enzimas.
<u>Boro (Bo)</u>	Este también se encarga del transporte de carbohidratos y viabilidad del polen.
<u>Molibdeno (Mo)</u>	Forma parte del nitrato-reductasa.
<u>Cloro (Cl)</u>	Actúa como activador de enzimas para la producción de oxígeno a partir del agua de la fotosíntesis.

Tabla 1 Funcionalidad nutrientes fundamentales desarrollo planta[30]

Para poder expresar la cantidad necesaria de elementos presentes en la solución nutritiva y en el agua se utilizan los siguientes parámetros:

- 1) Gramos por soluto disueltos en cada 1000 litros de agua (g/1000L)
- 2) Miligramos de soluto disueltos en un litro de agua (mg/L)
- 3) Partes por millón, se refiere a gramos de soluto disueltos en un millón de gramos de disolvente (agua) $\text{ppm} = \text{g}/1\ 000\ 000\ \text{g de agua} = \text{g}/1000\ \text{L} = \text{mg}/\text{L}$
- 4) Equivalente químico es igual a las partes por millón multiplicado por el peso atómico y dividido entre el número de valencias del ion. $\text{eq} = (\text{ppm} * \text{pa}) / \# \text{ de valencias del ion.}$

4.4.1.1. Calidad del agua

El agua funciona como el portador básico, ya que en ésta se disuelven y se transportan los nutrientes para las plantas. Es por ello que el agua es un factor determinante y muy importante en el cultivo hidropónico.

Sin embargo, en el agua también hay disueltas muchas impurezas que pueden ser dañinas para las plantas. La mala calidad del agua puede provocar una serie de problemas de crecimiento de las plantas, que incluyen retraso en el crecimiento, toxicidad mineral o síntomas de deficiencia, acumulación de elementos no deseados en el tejido vegetal, contaminación bacteriana, etc.[31]

4.4.1.2. Temperatura de la solución

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrientes pudiendo llegar a afectar a su crecimiento. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de 13°C ni estar sobre los 30°C, puede variar dependiendo del cultivo ya que cualquier variación de la misma afecta de forma directa a la asimilación de nutrientes de la planta.

El control de la temperatura de la solución nutritiva tiene poca importancia en los lugares de clima templado. En las zonas o temporadas frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para evitar temperaturas menores a 15 °C. La SN también debe protegerse con la radiación directa de los rayos solares para evitar su calentamiento, y alteración química y microbiológica.

4.4.1.3. Oxigenación

El agua forma un papel fundamental ya que la misma interviene de la disolución de las sales minerales que contiene la solución nutritiva, pero de la misma forma contribuye de forma negativa a la oxigenación de la planta y por consiguiente a los procesos fisiológicos de las mismas.

En los cultivos en solución, se menciona por algunos autores como Ellis y Swaney que el nivel adecuado en la solución nutritiva debe ser entre las 5 a 8 ppm a una temperatura de 15.5 °C de la solución.

Generalmente la oxigenación de la solución nutritiva se puede conseguir de dos formas:

- **Oxigenación manual:** Este tipo de oxigenación se suele realizar en cultivos de raíz flotante, en aquellos casos en los que no se cuenta con un presupuesto elevado.
- **Oxigenación automatizada:** Es la más utilizada dentro de los cultivos hidropónicos dada su gran comodidad. Principalmente se suele usar una bomba de aire o compresor, el cual será el encargado de realizar el aporte de oxígeno necesario permitiendo que la concentración de O₂ sea homogénea.

4.4.1.4. PH

Se denomina pH a la unidad de medida que permite determinar el nivel de acidez o alcalinidad de una solución acuosa.

La medición del pH viene determinada por la relación entre el contenido de protones (H⁺) y el de iones hidroxilo (OH⁻) en la disolución. El agua pura, en la que existe un equilibrio entre los iones H⁺ y OH⁻, tiene un pH neutro (pH 7). Si en la disolución existen más iones H⁺ que OH⁻, entonces será **ácida** y tendrá un valor comprendido entre 0 y 6.9 en la escala de pH. Si por el contrario, la cantidad de H⁺ es menor, el valor de pH se encontrará entre 7.1 y 14 y entonces será **alcalina**.

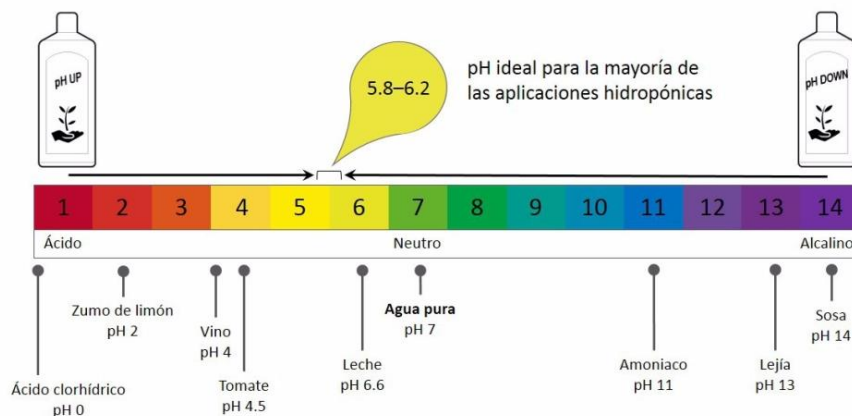


Fig. 28 Niveles de pH[32]

La importancia del pH sobre las plantas, reside en que este afecta a la **disponibilidad que tiene la planta de obtener los nutrientes.**

Aunque cada especie vegetal presenta un intervalo óptimo determinado, la mayoría de las plantas crecen bien con un pH comprendido entre 5.8 y 6.2

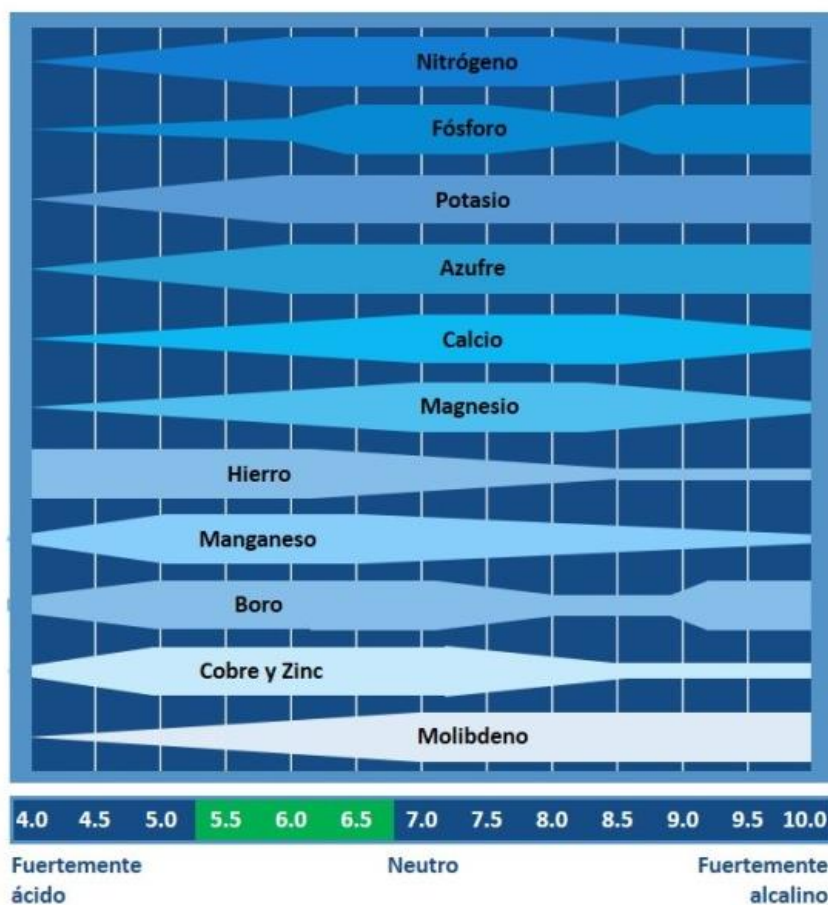


Fig. 29 Niveles óptimos de pH en la solución[32]

Para determinar el nivel de pH de la solución nutritiva en el sistema se pueden utilizar las siguientes herramientas:

- **Tiras reactivas:** Se componen de tiras impregnadas con colorante las cuales cambian de color en función del pH. Son la forma más rápida y económica de comprobar el nivel de pH
- **Kits líquidos:** Consiste en añadir gotas con colorante a la solución para determinar el nivel de pH.
- **Medidor digital:** Es uno de los métodos más fiables gracias a su gran precisión. El principal inconveniente reside en que necesitan un mantenimiento del electrodo adecuado y una recalibración periódica para que la lectura sea precisa.



Fig. 30 Tiras reactivas(izquierda) Kit líquido(derecha)[32]



Fig. 31 Medidor de pH digital[32]

4.4.1.5. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida aproximada para saber si se está aplicando la cantidad suficiente de nutrientes en la solución nutritiva y si nuestro cultivo los está asimilando.

La unidad de medición más comúnmente utilizada en hidroponía es el miliSiemen por centímetro (mS/cm) aunque también podemos encontrar datos expresados en microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) o en deciSiemens/metro (dS/m).

Como consecuencia de que las plantas absorben agua y nutrientes en diferentes proporciones en función de su estado de desarrollo, la CE varía en el tiempo, por lo que es necesario realizar mediciones constantes.

Hay que tener en cuenta también que valores extremos de CE pueden afectar significativamente a la salud de nuestras plantas negativamente:

- CE alta: Dificil absorción de las raíces de la planta
- CE baja: Déficit de nutrientes y susceptible de enfermedades

Para ello se recomienda que la diferencia CE en los difusores de la solución nutritiva (entrada) y en el drenaje (salida) sea de una unidad, la salida sea mayor que la entrada.

Cultivo	0% pérdida		10% pérdida		25% pérdida	
	CEe	CEw	CEe	CEw	CEe	CEw
Tomate	2,5	1,7	3,5	2,3	5	3,4
Melón	2,2	1,5	3,6	2,4	5,7	3,8
Papa	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5
Lechuga	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1
Olivo	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7
Limonero	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2
Manzano	1,7	1	2,3	1,6	3,3	2,2
Nogal	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2
Vid	1,5	1	2,5	1,7	4,1	2,7
Palto	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7
Frutilla	1	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2

Ref. Libro azul SQM, adaptado de "Quality of water for irrigation" R.S. Aysers. Journal of the irrig. and Drain Div., ASCE. Vol 103, Junio 1977

CEe: Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo, en mmhos/cm a 25°C.

CEw: Conductividad eléctrica del agua de riego, en mmhos/cm a 25°C.

Tabla 2 Ejemplos de conductividad eléctrica en plantas[33]

4.4.1.6. Control del volumen de la solución

El control del volumen de la solución nutritiva es otro de los factores a tener en cuenta ya que, debido al fenómeno de evapotranspiración, las plantas pueden absorber más agua que la propia solución nutritiva. Si esto prevalece con el paso del tiempo, se produce un incremento en el pH y en la presión osmótica de la solución pudiendo llegar a dificultar la absorción de agua por parte de las raíces de la planta

Si la concentración de sales es muy alta, el crecimiento de las plantas se detiene e incluso pueden morir por desecación al salir agua de la raíz. Para mantener la presión osmótica adecuada y los niveles correctos de nutrientes en la solución basta restituírle periódicamente el agua perdida por la evapotranspiración, esto puede hacerse semanalmente y renovarse periódicamente.

4.5. INVERNADEROS

4.5.1. Definición

Se entiende por invernadero un lugar cerrado, estático y accesible a pie, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o de plástico, dentro del cual se puede obtener un microclima mediante el control de la temperatura, de la humedad y de otros factores ambientales, además, se pueden proporcionar sistemas automáticos de riego y ventilación, lo cual se utiliza para la producción y de cultivos de forma controlada.[34]

La variedad de cultivo que se desee cultivar en el interior de estos invernaderos, contara con diferentes condiciones climáticas. Es por ello que con gracias al desarrollo de la tecnología en estos últimos tiempos se pueden conseguir resultados muy favorables del cultivo

Dentro de las ventajas e inconvenientes con lo que cuenta un invernadero caben destacar:

Marco Teórico

Ventajas:

- Precocidad de los frutos
- Mayor calidad del cultivo y rendimiento
- Permite cultivar plantas fuera de época
- Ahorro de agua y fertilizantes
- Mayor control de plagas y enfermedades
- Mayor control sobre las variables que afectan a la planta (humedad relativa, O₂, CO₂, etc.)
- Permite realizar múltiples rotaciones de cultivo

Inconvenientes:

- Inversión inicial elevada
- Alto costo de operación y mantenimiento
- Alto nivel de cualificación
- Desconocimiento sobre el diseño apropiado.

4.5.2. Tipos

Existe una gran variedad de tipologías de invernaderos en función de múltiples parámetros, ya sean según la temperatura, el tipo de cubierta o tipo de estructura o forma.

Es por ello que con objeto de simplificar la clasificación de los mismos, se mostrara a continuación los tipos de invernaderos más utilizados:

4.5.2.1. Tipo parral

Este tipo de invernadero es utilizado en zonas con escasa lluvia, aunque no es aconsejable su construcción.

Posee una estructura vertical de madera o metal, sobre la que se coloca una doble mallas de alambres que sujetan la lámina de polietileno, con el fin de brindar mayor seguridad a la cubierta frente a la ocurrencia de vientos fuertes.[35]

Se caracterizan por la escasa pendiente de su techumbre (11 a 15 °), tener una altura de 3,0-3,5 m y por una anchura variable, pudiendo oscilar en 20 m o más.

Ventajas:

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

Inconvenientes:

- Deficiente ventilación.
- Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).
- Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).
- En zonas de baja radiación, la escasa pendiente del techo representa una baja captación de la luz solar.

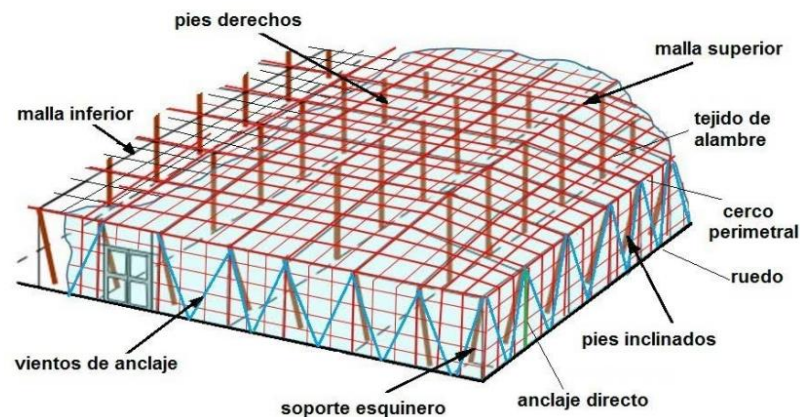


Fig. 32 Invernadero tipo parral[36]

4.5.2.2. Raspa y amagado

Este invernadero es el que más se ha extendido en los últimos años. Su estructura es muy similar a la de este último, variando principalmente la forma de la cubierta que presenta un ángulo que oscila entre 6° y 20° . Cuanto mayor es dicho ángulo mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento

Ventajas:

- Buena inercia térmica
- Mayor circulación de aire
- Buena resistencia frente al viento
- Permite geometrías irregulares
- Montaje rápido
- Reaprovechamiento del agua de lluvia



Fig. 33 Invernadero tipo raspa y amagado[36]

4.5.2.3. *Asimétrico*

Se diferencia del de raspa y amagado en que la cubierta presenta distinto grado de inclinación, permitiendo de este modo aumentando la capacidad de captación solar.

Este tipo de invernaderos se caracterizan por contar con una longitud y anchura de tejado diferente de ahí su nombre, aunque también es conocido como invernadero tropical, debido a que su aplicación está muy ligada a zonas con climas tropicales.

La altura máxima de la cumbrera ronda en torno a 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura de las bandas varía entre 2,15 y 3 m

Ventajas:

- Posee gran utilidad en espacios que presentan desniveles
- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Elevada inercia térmica.
- Estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación por su altura.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento.
- Resistencia a vientos fuertes.
- Montaje rápido y sin la utilización de soldaduras.

Inconvenientes:

- Resulta complicado su automatización
- No utiliza el agua de lluvia.
- Dificultad para realizar el cambio del plástico de la cubierta. Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta.

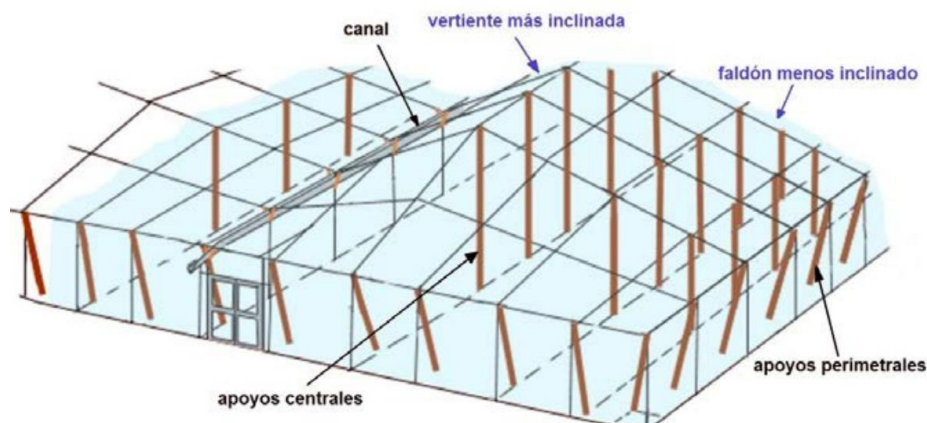


Fig. 34 Invernadero tipo asimétrico[36]

4.5.2.4. Capilla

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos.

La pendiente del techo es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15 y 35°). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12m (incluso mayores), por largo variable.

Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5m y la de cumbrera 3,0-3,5m (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables). 2

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

Ventajas:

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

Inconvenientes:

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

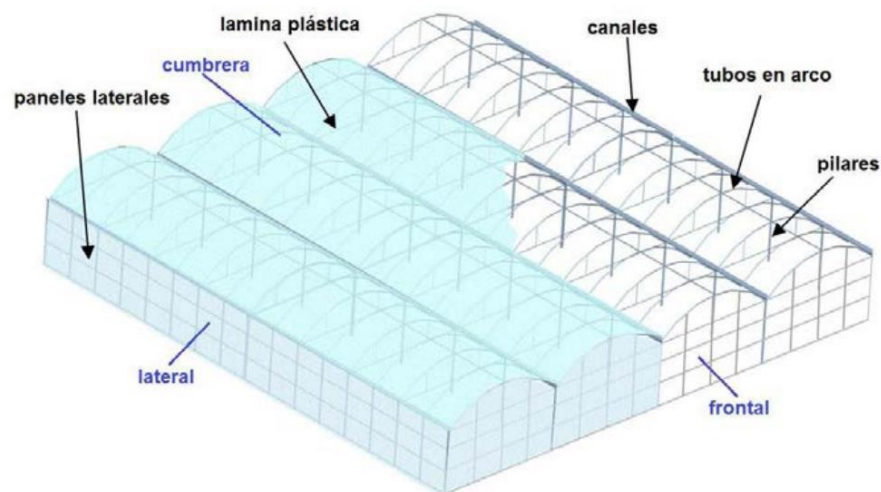


Fig. 35 Invernadero tipo capilla o multinivel[36]

4.5.2.5. Diente de sierra

Una variación de los invernaderos capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente. [37]

Estos invernaderos contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol - norte para el hemisferio sur-).

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

Marco Teórico

Ventajas:

- Construcción de mediana complejidad.
- Excelente ventilación (lo que no plantea las limitantes del tipo capilla, en cuanto a la conformación de baterías)
- Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).

Inconvenientes:

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

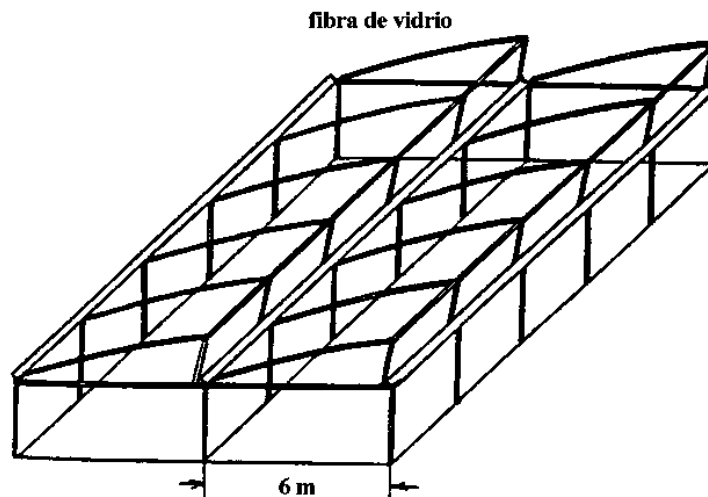


Fig. 36 Invernadero diente de sierra[38]

4.5.2.6. Doble capilla

Se caracteriza por estar construido por arcos curvos semicirculares que componen su cubierta con una estructura totalmente metálica. Los invernaderos de capilla simple poseen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.[37]

Ventajas:

- Fácil construcción y conservación.
- Adaptable a la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical es fácil y con la posibilidad de mecanización sencilla.
- Instalación práctica de ventanas cenitales.
- Evacuar el agua de lluvia con facilidad
- Permite la unión de varias naves en batería
- Pocos obstáculos en su estructura.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior



Fig. 37 Invernadero de doble capilla[39]

4.5.2.7. Túnel

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

Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (circulares, semiolímpicos, medio punto, ojivales etc.). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0-8,0 m de ancho por largo variable.

Ventajas:

- Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido)
- Elevada transparencia
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.
- Fácil circulación del aire

Inconvenientes:

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



Fig. 38 Invernadero tipo túnel[40]

4.5.2.8. Tipo venlo o de Cristal

Los invernaderos venlo o de cristal, son las estructuras típicas utilizadas en Holanda, y se pueden apreciar algunas de ellas también en Almería

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

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

Ventajas:

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

Inconvenientes:

- Alto costo.
- El paso de la luz se ve reducido, no por el material de cobertura, sino por el importante número de elementos de sostén (debido al peso del material de cubierta).
- Al tratarse de un material rígido, con duración de varios años, resulta afectado por la transmisibilidad de polvo, algas, etc.
- Su diseño solamente resulta útil en zonas donde el clima es frío

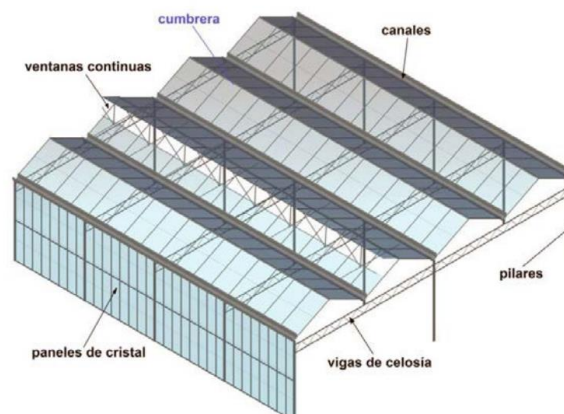


Fig. 39 Invernadero tipo venlo o cristal[36]

5. METODO OPERATIVO

5.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto en cuestión se desarrollará en invernadero situado en la localidad de Ricla, perteneciente a la comarca de Valdejalón, situado entre Zaragoza (56 km) y Calatayud (37 km). El municipio se caracteriza por su actividad agrícola a la que se dedica gran parte de sus habitantes haciendo de la localidad, una de las más importantes dentro del sector agrícola ya no solo en Aragón, sino también en toda España.

Cabe destacar que el invernadero en cuestión cuenta con suministro eléctrico y con suministro de agua debido a la existencia de una acequia de la cual se extraerá el agua necesaria para realizar los riegos pertinentes de las plantas.

Latitud: 41° 30' 15,24" N

Longitud: 1° 24' 50,60" O

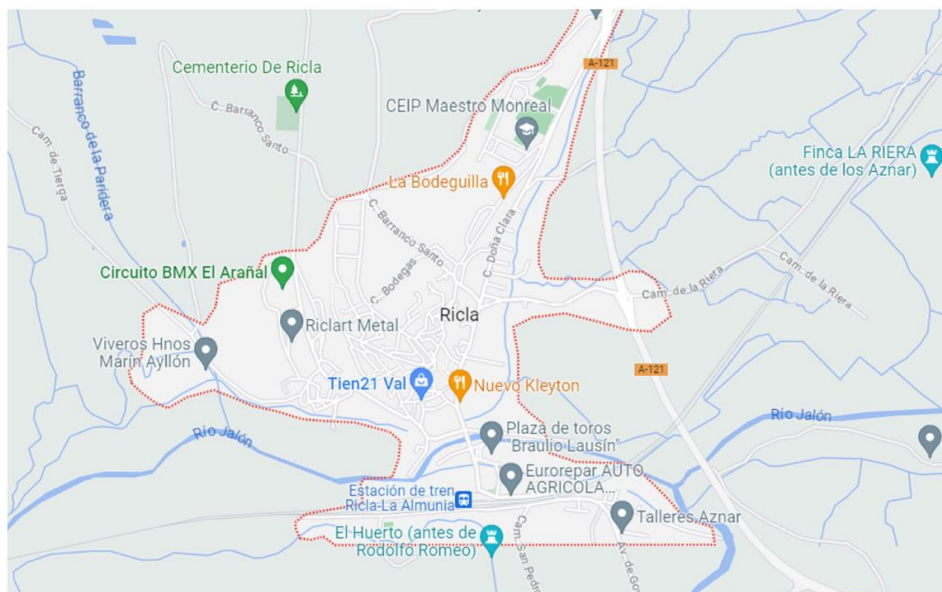


Fig. 40 Localidad de Ricla



Fig. 41 Localización invernadero

5.2. ANÁLISIS CLIMÁTICO

La zona presenta un clima mediterráneo, con marcada influencia continental, caracterizado por escasas precipitaciones (360 mm anuales) y temperaturas en promedio moderadas (15,3 °C). La continentalidad se manifiesta en la notable diferencia entre un invierno frío, con temperaturas medias en enero de 6,6 °C, y un verano cálido, en el que los valores del mes de julio se sitúan en 24,9 °C.

En invierno no son extraños los días de helada o momentos en los que el termómetro se aproxima a los 0 °C; y en el extremo contrario, el calor puede ser agobiante en julio y agosto, con cifras absolutas que alcanzan con cierta frecuencia los 35 °C y llegan a los 40 °C.

METODO OPERATIVO

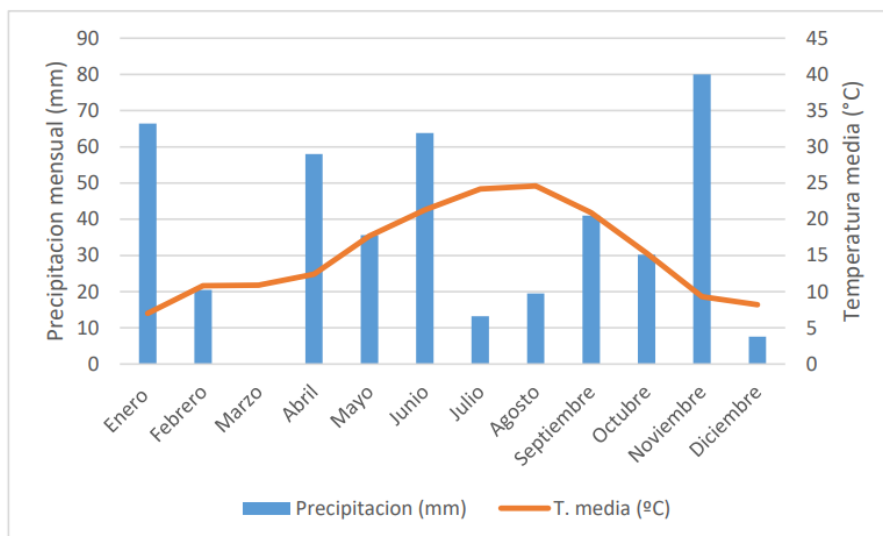


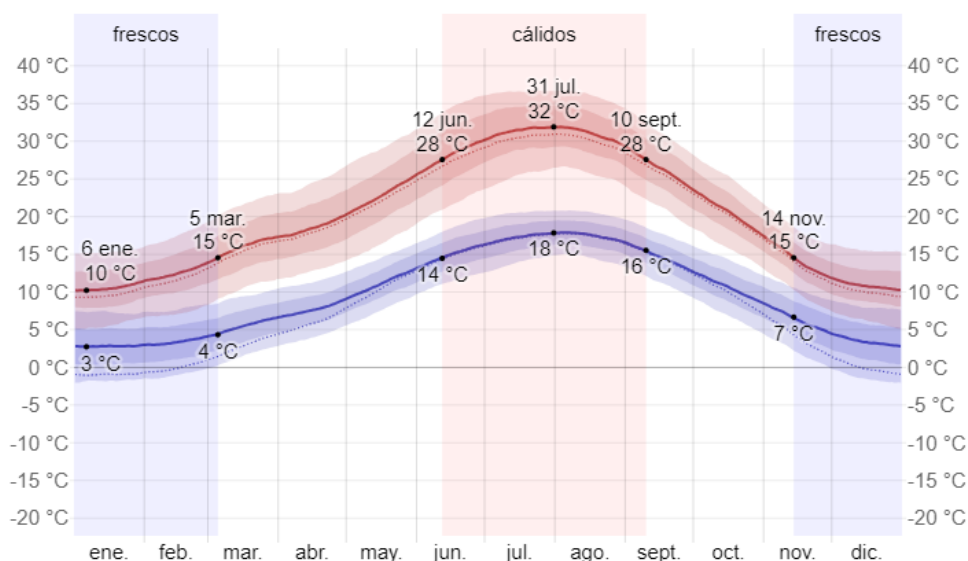
Fig. 42 Climograma Ricla[41]

5.2.1. Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes a la hora de realizar el diseño de la instalación.

La temporada calurosa dura 2,9 meses, del 12 de junio al 10 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 28 °C. El mes más cálido del año en Ricla es julio, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y mínima de 17 °C.

La temporada fresca dura 3,7 meses, del 14 de noviembre al 5 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 15 °C. El mes más frío del año en Ricla es enero, con una temperatura mínima promedio de 3 °C y máxima de 11 °C.



Promedio	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.
Máxima	11 °C	13 °C	16 °C	19 °C	23 °C	28 °C	31 °C	31 °C	26 °C	20 °C	14 °C	11 °C
Temp.	6 °C	7 °C	10 °C	13 °C	17 °C	21 °C	24 °C	24 °C	20 °C	15 °C	10 °C	7 °C
Mínima	3 °C	3 °C	6 °C	8 °C	11 °C	15 °C	17 °C	17 °C	15 °C	10 °C	6 °C	3 °C

Fig. 43 Temperaturas máximas y mínimas promedio Ricla [42]

5.2.1. Precipitaciones

Las precipitaciones en esta zona son bastante escasas, 360 mm al año. Por ello en las zonas en las que no se dispone de agua de riego, los cultivos que se pueden desarrollar son escasos.

El verano, al igual que ocurre en todo el ámbito mediterráneo, es pobre en lluvias, en particular los meses de julio y agosto, donde los porcentajes que se recogen con respecto al total anual giran en torno al 10-15%.

A finales de noviembre y sobre todo durante el mes de diciembre, las lluvias van disminuyendo y se entra en otro período seco, sin duda tan intenso como el mínimo de verano, al que se deben aportes anuales inferiores al 25 e incluso 20%.

Marzo es un mes típico de transición y señala con el incremento pluviométrico el inicio de la primavera, llegando a alcanzar su máximo porcentaje en mayo.



Fig. 44 Probabilidad diaria de precipitación en Ricla[42]

METODO OPERATIVO

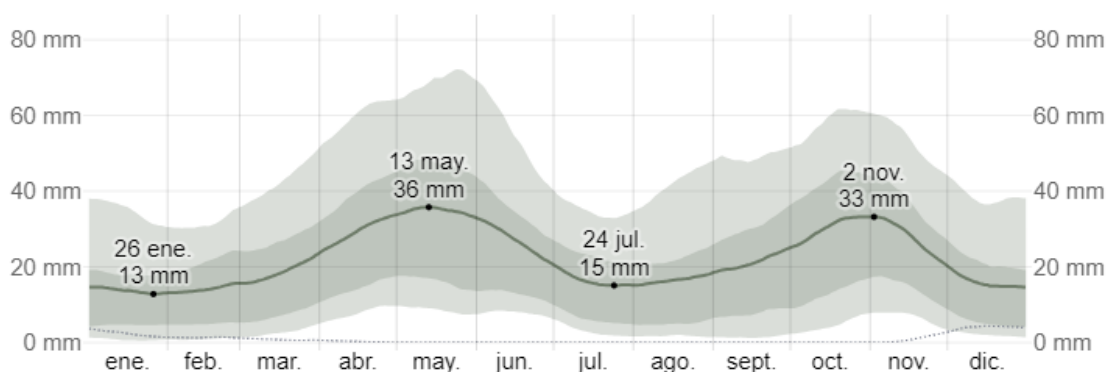


Fig. 45 Promedio mensual de lluvia en Ricla[42]

5.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE INVERNADERO

Se ha optado por la selección de un invernadero tipo capilla o multinivel debido a las características que presta este tipo de sistema:

- Excelente ventilación (al igual que el diente de sierra), siendo muy adecuados para la conformación de baterías e hileras.
- Empleo de materiales de bajo costo.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.

Las dimensiones del invernadero son las siguientes:

Tabla 3 Dimensiones invernadero

Parámetros	Cantidad	Unidad
Ancho	9	m
Largo	30	m
Área	270	m ²
Altura eficaz	2	m
Altura máxima	3	m

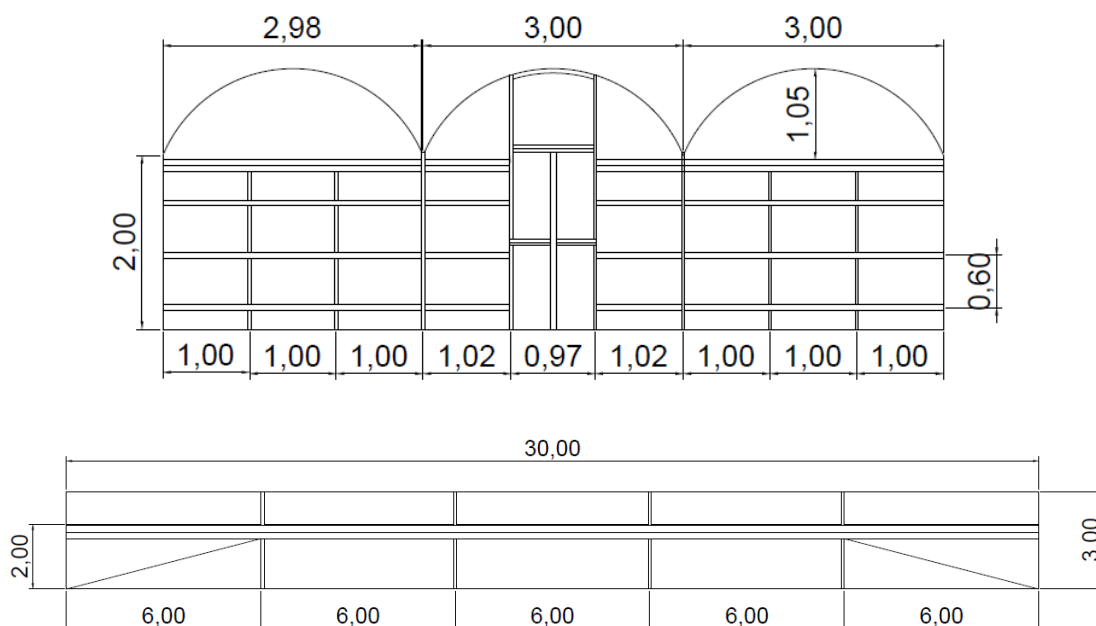


Fig. 46 Dimensiones invernadero

Para el tipo de cubierta del invernadero existe una amplia gama de plásticos para su uso. En este caso se empleará polietileno de baja densidad PEBD debido a su bajo coste. En las paredes del invernadero se utilizará malla anti-áfidos con objeto de tener mayor proyección contra insectos y ventilación del cultivo.

Tabla 4 Características tipo de cubierta[43]

Material	Transparencia	Resistencia a impactos	Durabilidad
PEBD	Alta	Baja	Media
PVC	Media	Alta	Alta
Policarbonato	Alta	Alta	Alta

5.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

5.4.1. Planteamiento del sistema

En primer lugar, se deberá seleccionar el tipo de sistema hidropónico a utilizar. En este caso el sistema hidropónico seleccionado es el basado en la técnica de flujo recirculante NFT. Tal y como se ha comentado con anterioridad, consisten en hacer circular una fila lamina de solución nutritiva con la ayuda de una bomba a través de un circuito cerrado formado por tuberías generalmente de PVC y un tanque colector.

La solución es absorbida por las raíces de las plantas que se encuentran suspendidas sobre dichos conductos, permitiendo de esta forma que las mismas crezcan sin la necesidad de ningún tipo de sustrato.

METODO OPERATIVO

Para evitar cualquier tipo de descompensación en la solución nutritiva, se deberá realizar una regulación en el PH y en la conductividad eléctrica de la solución, utilizando para ello pequeñas bombas.

Para permitir una mayor oxigenación y una mayor homogeneización de la solución se empleará un agitador

Por último, se contará con una bomba sumergible situada en la acequia la cual servirá de suministro para el llenado del tanque principal en el caso de que este último se encuentre vacío.

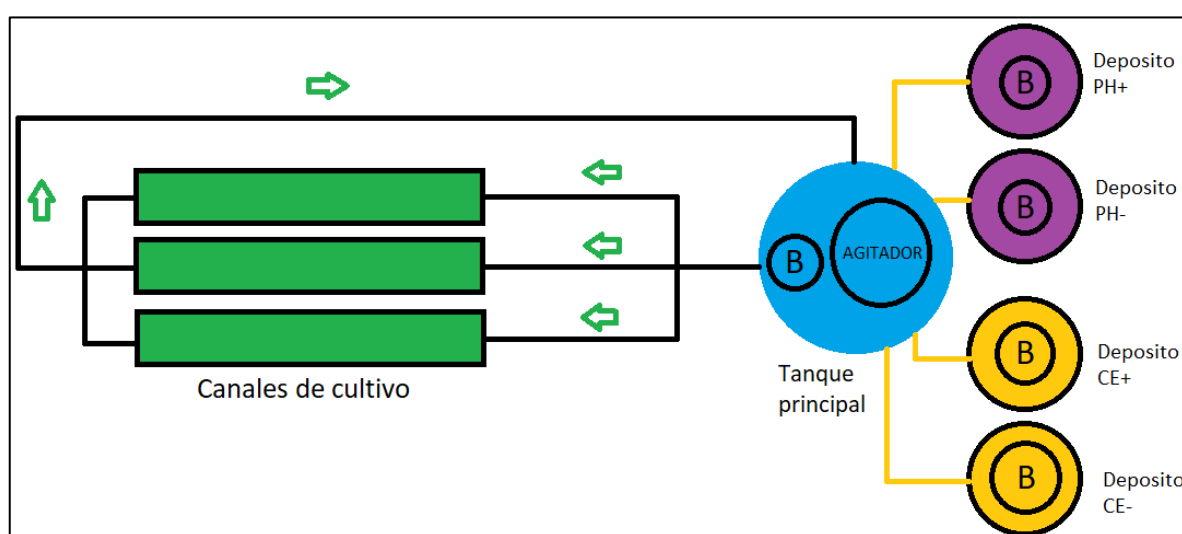


Fig. 47 Esquema general sistema hidropónico

5.4.2. Selección de cultivo

En segundo lugar se deberá elegir el tipo de cultivo a desarrollar. En este caso se ha escogido el desarrollo del cultivo de lechuga romana, española o de trocadero:

Tabla 5 Características lechuga romana

Humedad	Temperatura optima	Temperatura Limite	PH	Conductividad	Ciclo vegetal
60-80%	16-22°C	6-30°C	5,5-6,5	0,8-1,8 es/cm2	90-100 días

5.4.3. Solución nutritiva

La solución nutritiva se formula considerando que las plantas deben recibir un balance nutricional adecuado, ya sea a través de sistemas hidropónicos de raíces en sustrato, en agua o sin sustrato. La formulación depende de cada fabricante y en la actualidad se pueden encontrar productos clasificados como:

Solución concentrada A: Generalmente compuesta por Macronutrientes como: Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre.

Solución concentrada B: Generalmente compuesta por Micronutrientes como: boro, cobre, cloro, hierro, sodio, manganeso, níquel y zinc.

En este caso se hará uso de un fertilizante comercial de coco de BIONOVA. Se deberán agitar la solución A antes de usar, seguidamente verter sobre el depósito principal lleno de agua y posteriormente mezclar. A continuación realizar el mismo procedimiento con la solución B. La proporción ha de ser de 1:600



Fig. 48 Solución nutritiva A+B Coco forte[44]

5.4.1. Líquidos reguladores

5.4.1.1. Regulador de PH

Con objeto de regular el PH de la solución, se hará uso de dos líquidos reguladores de PH, uno que permita alcalinizar la solución (azul) y otro que permita acidificarla (rojo).

Como ya se ha comentado con anterioridad, el control de PH se hará por medio de bombas situadas en sus respectivos depósitos. Los líquidos elegidos son de la marca Atlas Scientific.



Fig. 49 Reguladores de PH[45]

METODO OPERATIVO

5.4.1.1. Regulador de CE

Al igual que en el caso del PH, se hará uso de dos líquidos, uno que permita aumentar la CE y otro que la reduzca.

El control de CE se realizará de la misma forma que en el caso anterior, por medio de bombas situadas en cada uno de los depósitos. Los líquidos utilizados son de la marca Atlas Scientific



Fig. 50 Reguladores de CE [45]

5.4.1. Dimensionamiento de los tubos de cultivo

El dimensionamiento de los tubos de cultivo, es una de las consideraciones más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento del cultivo hidropónico. Los expertos en la materia como el Dr Rene Cabezas y el Dr Jorge Barcelos [46] establecen que por normal general los diámetros de los conductos de trabajo y los que mejores resultados ofrecen, son los tubos de PVC o tubo sanitario de 3 pulgadas, aunque dependiendo del tipo de instalación se pueden utilizar de $\frac{3}{4}$ pulgadas, $\frac{1}{2}$ pulgadas o de 1 pulgadas.

Del mismo modo, recomiendan que el número de tubos por bancada no debe ser superior a 8 tubos y que la longitud de los mismos no sea superior a 16 m debido a que puede provocar que algunas plantas no absorban correctamente la solución nutritiva.

De la misma forma recomiendan una separación entre bancadas de 20 cm para evitar de este modo que las plantas compitan entre si durante la etapa de crecimiento.



Fig. 51 Tubería de PVC

Para este proyecto, se han escogido tubos de PVC de 3 pulgadas siguiendo la distribución adjuntada en el anexo de planos.

5.4.2. Dimensionamiento Tanques contenedores

5.4.2.1. Tanque solución nutritiva

Para el dimensionamiento del tanque se considera que el consumo máximo por día de solución nutritiva de la planta es de 1L/planta.[47]. Por lo tanto para determinar la capacidad necesaria del tanque de solución nutritiva, se realiza el siguiente calculo:

$$\text{Densidad de plantacion} = 20 \frac{\text{plantas}}{\text{bancada}} * 8 \frac{\text{tubos}}{\text{bancada}} * 12 \text{ bancadas} = 1920 \text{ plantas}$$

$$\text{Capacidad del tanque} = 1920 \text{ plantas} * 1 \frac{\text{L}}{\text{planta}} = 1920 \text{ litros}$$

Teniendo en cuenta estos resultados, dado que en el mercado no existen tanques con una capacidad igual a la obtenida, se opta por elegir un tanque con una capacidad de 2200 litros

METODO OPERATIVO



REFERENCIA	Volumen l	DS mm	DI mm	H mm	Peso Kg
DC 100 TC 100	113	580	500	550	4
DC 200 TC 200	209	600	459	1.020	6,5
DC 300 TC 300	344	750	583	1.040	8
DC 500 TC 500	541	915	739	1.060	9,7
DC 1000 TC 1000	1.095	1.140	900	1.360	17
DC 1800 TC 1800	1.800	1.595	1.382	1.070	22
DC 2200 TC 2200	2.250	1.595	1.400	1.330	30
DC 3000 TC 3000	3.000	1.730	1.510	1.465	35
DC 4000 TC 5000	3.970	2.100	1.880	1.390	48
DC 5000 TC 5000	5.020	2.100	1.840	1.810	60

Fig. 52 Tanque solución nutritiva

5.4.2.1. Tanques reguladores PH y Conductividad

Con objeto de contener los líquidos reguladores de PH y conductividad de la solución y evitar al mismo tiempo rellenarlo reiteradamente, se ha escogido un bidón de 220 L de la marca "reyenvas".



Fig. 53 Tanque reguladores PH y Conductividad

CARACTERÍSTICAS	VALOR NOMINAL
Peso	6,5 kg.
Diámetro exterior de rosca	1335 mm.
Diámetro interior de boca (Di)	397 mm.
Diámetro exterior de boca (Dext)	407 mm.
Espesor medio de boca	6 mm.
Espesor puntual	≥ 2.5 mm.
Volumen nominal	220 l.
Altura (h)	975 mm.
Desarrollo máximo del bidón	1925 mm.
Color	Según orden de fabricación
Aspecto Visual	Ausencia de defectos.
Rosca	Mínimo 3 hilos.
Cierre	Debe garantizar estanqueidad.
Marcas / Señales	Según orden de fabricación

Fig. 54 Características tanque reguladores PH y Conductividad

5.4.1. Actuadores

5.4.1.1. Bombas

5.4.1.1.1. Bomba tanque principal

Para el dimensionamiento de la bomba se considera que el caudal promedio que debe circular por cada tubo es de 2L/min. Considerando este dato se obtiene:

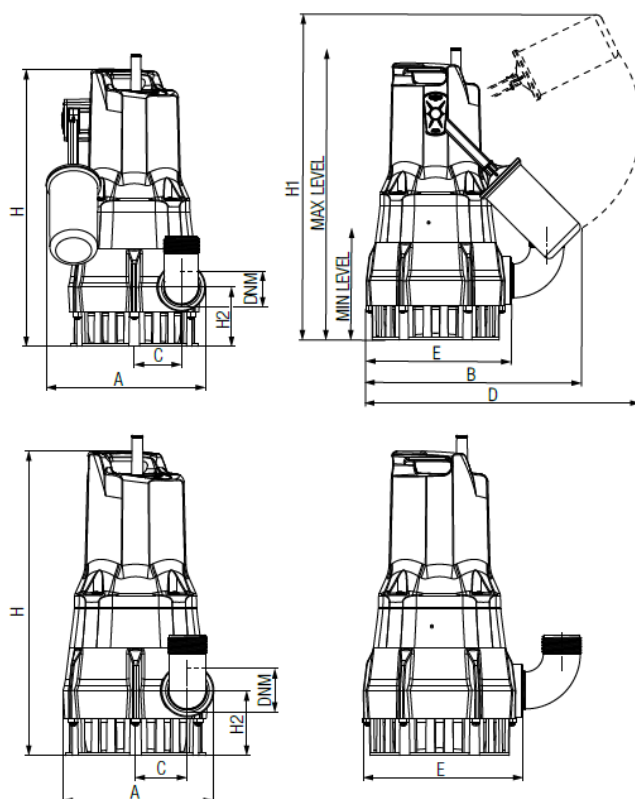
$$\text{Caudal teórico} = 2 \frac{l}{min} * 8 \frac{tubos}{bancada} * 12 \text{ bancadas} = 192 \frac{l}{min}$$

Considerando la existencia de pérdidas por rugosidad interna y por pérdidas localizadas, se realiza un sobredimensionamiento de un 30% con respecto al valor teórico. De esta forma se obtiene:

$$\text{Caudal real} = 192 l/min * 0.3 = 249,6 l/min$$

De esta forma se selecciona una bomba que sea capaz de proporcionar un caudal igual o superior al caudal real anteriormente calculado. Teniendo en cuenta esto, se selecciona una bomba sumergible NOVA 600 MA-MNA capaz de proporcionar un caudal de 250 l/min permitiendo conseguir una altura de impulsión de hasta 3,5m

METODO OPERATIVO



MODEL	Q= m³/h	0	3	6	9	12	15
	Q=l/min	0	50	100	150	200	250
NOVA 300 MA	H (m)	7,2	5,8	4,6	3,4	2,2	-
NOVA 600 MA-MNA-TNA	H (m)	10,4	9	7,8	6,7	5,3	3.5

MODEL	ELECTRICAL DATA						
	POWER INPUT 50 Hz	P1 MAX kW	P2 NOMINAL		In A	CAPACITOR	
			kW	HP		µF	Vc
NOVA 300 MA	1X230 V~	0,35	0,22	0,3	1,5	8	450
NOVA 600 MA-MNA	1X230 V~	0,66	0,5	0,7	3,0	10	450
NOVA 600 TNA	3X400 V~	0,66	0,5	0,67	1,7	-	-

Fig. 55 Características bomba NOVA MA-MNA

5.4.1.1.2. Bomba acequia

Para evitar que el nivel del tanque principal sea demasiado bajo y provoque un mal funcionamiento en el riego en la totalidad de la instalación, se requiere una bomba capaz de proporcionar un gran caudal en muy poco tiempo. Debido a estos criterios se ha seleccionado una bomba sumergible HIDROBEX XKS-750S capaz de proporcionar un caudal de 275l/min



Cuerpo y base bomba	Acero inoxidable
Rodete	Noryl
Eje motor	Acero inoxidable
Cierre	- Lado bomba: Cerámica/Grafito - Lado motor: Retén de estanqueidad
Flotador externo	Interruptor incorporado
Cable alimentación	10 m de cable sumergible de neopreno y el enchufe Schuko
Fluido	Aguas sucias y cargadas
Temperatura del líquido	Máx. 35°C
Profundidad de inmersión	Máx. 7 m
Nivel de achique	20 mm
Paso de sólidos	5 mm
Nº arranques / hora	Máx. 25
Caudal	Máx. 275 l/min
Altura	Máx. 9,5 m
Motor	Monofásico 230 V - 50 Hz
Ø impulsión	1 1/4"
Protección térmica	hasta 1,85 kW
Clase de aislamiento	B
Grado de protección	IP68
Intensidad	3,3 A
Potencia	1 CV o 0,75 kW
Peso	5,5 kg

Fig. 56 Características Bomba sumergible HIDROBEX XKS-750S

METODO OPERATIVO

5.4.1.1.3. Bombas tanque reguladores de PH y CE

Para impulsar los líquidos reguladores desde sus respectivos depósitos hasta el tanque principal, se necesitará una bomba de menor potencia debido a que no es necesario impulsar un gran caudal de agua. Para ello se ha seleccionado una bomba EB-305:



MODEL	VOLTAGE	POWER	HMAX	FMAX
EB-305	220v-240v/50Hz	25W	2.0m	1200L/H
EB-304	220v-240v/50Hz	15W	1.6m	800L/H
EB-303	220v-240v/50Hz	10W	1.2m	600L/H
EB-302	220v-240v/50Hz	6W	0.8m	450L/H
EB-301	220v-240v/50Hz	3W	0.5m	220L/H

Fig. 57 Características bomba EB-305

5.4.1.2. Agitador

Para llevar a cabo la homogeneización de los diferentes líquidos reguladores necesitará un agitador. La función principal del agitador no consiste solo en realizar la mezcla de la solución, sino también la de permitir conseguir una mayor oxigenación de la misma, permitiendo así obtener un desarrollo óptimo del cultivo. Para ello se ha seleccionado un agitador MEDINOX HAT de la marca TIMSA:



Volumen (m³) Aprox.	Modelo	kW	Rpm	Q (m³/h)	M (mm)	R (mm)	L (mm)	D (mm)	Peso (Kg)
0,5	HAT-01 03 R 01	0,18	315	120	188	133	1.000	200	30
0,5-1	HAT-03 03 R 25	0,37	315	240	215	151	1.500	250	35
1-2	HAT-05 03 R 02	0,75	315	422	232	185	1.500	300	40
2-3	HAT-06 03 R 03	1,1	315	679	267	220	1.500	350	45
3-4	HAT-08 03 R 04	2,2	315	1.025	305	271	1.500	400	50

Fig. 58 Características agitador MEDINOX HAT

5.4.1.3. Climatización

5.4.1.3.1. Ventilador

En el caso en que se produzca un incremento excesivo de la temperatura que suponga un peligro para el cultivo, será necesario reducirla mediante el uso de ventiladores.

En este caso se ha seleccionado un ventilador MULTIFAN T4E45DAM80100 permitiendo así adecuar la temperatura sin llegar a poner en riesgo el cultivo.



Artículo	ø (cm)	Fuente de alimentación			(n) tr/min	P _n (W)	I _{nom} (A)	Q _v (m³/h)	Tira (m) *	SFP @0Pa (W/1000m³/o)	dB(A) **	Régulable ***
		~	V	Hz								
T6E45AAM80100	45	1	230	50	950	110	0,6	4.800	45	24,8	46	E/T
T4E45DAM80100	45	1	230	50	1.460	190	0,9	6.450	55	29,8	55	E/T
T4E45BAM80100	45	1	230	50	1.450	250	1,2	6.950	60	35,8	55	E/T
T4E45CAM80100	45	1	230	50	1.415	370	1,7	8.700	65	42,9	54	E/T
T6E45KAM80100	45	1	230	60	1.125	120	0,6	5.000	45	23,8	49	E/T
T4E45LBM80100	45	1	115	60	1.735	270	2,4	7.150	60	37,9	58	E/T
T4E45LAM80100	45	1	230	60	1.740	280	1,2	7.150	60	38,2	59	E/T
T4E45MAM80100	45	1	230	60	1.655	390	1,8	8.450	65	46,9	58	E/T

Fig. 59 Características ventilador MULTIFAN T4E45DAM80100

METODO OPERATIVO

5.4.1.3.2. Calefactor

En el caso contrario, si se produce un descenso excesivo de la temperatura que suponga un peligro para el cultivo, será necesario aumentarla mediante el uso de calefactores. En este caso se ha seleccionado un calefactor DRACO 15 del fabricante KRUGER permitiendo así adecuar la temperatura sin llegar a poner en riesgo el cultivo.



	DRACO15	DRACO30	DRACO50	ASGARD180A	ASGARD260A	ASGARD340A
Potencia térmica kW	6.5 ÷ 15	15,08 ÷ 30	26.9 ÷ 50	22.76 ÷ 46.73	32.33 ÷ 66.25	40.95 ÷ 84.81
Pot. térmica kcal/h	5.590 ÷ 12.900	12.965 ÷ 25.800	23.200 ÷ 43.000	19.570 ÷ 40.180	27.800 ÷ 56.965	35.210 ÷ 72.923
Área de trabajo m ³	300	600	1.000	900	1.300	1.650
Caudal de aire m ³ /h	320	650	650	1.250	1.950	2.550
Tensión pH-V-Hz	1-230-50	1-230-50	1-230-50	1-230-50	1-230-50	1-230-50
Presión gas bar	0.7	0.7	1.5	1.5	1.5	1.5
Consumo kg/h	0.66 ÷ 1.09	1.025 ÷ 2.18	2.20 ÷ 3.63	1.54 ÷ 3.15	2.19 ÷ 4.47	2.78 ÷ 5.76
Dim. (LxAnxAI) cm	38x19x31	48x23x36	58x23x36	58x28x51	58x32x54	70x32x54
Peso kg	4.4	6.8	7.5	12	14	16

Fig. 60 Características calefactor DRACO15

5.4.2. Sensores

5.4.2.1. Sensor de temperatura

Dado que la temperatura es uno de los factores más importantes dentro del cultivo hidropónico, es necesario conocer las variaciones que se producen en el entorno con objeto de conseguir un desarrollo óptimo de nuestro cultivo. Es por ello por lo que se ha elegido un sensor TYP I del fabricante TITEC cuyas características se muestran a continuación:



Tensión	Consumo (A)	Señal de salida (3 hilos)	Tipo de sensor
12-34V	24-44mA	4-20mA	PT100 ClaseB

Fig. 61 Características sensor de temperatura TITEC

5.4.2.2. Sensor de nivel de líquidos[48]

Con el objetivo de medir el nivel de los tanques de la instalación, se hará uso de varios sensores de nivel. Principalmente un sensor de nivel como su nombre indica, permite determinar la altura a la que se encuentra el material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Dentro del mercado se puede encontrar una gran variedad de sensores de nivel de entre los que caben destacar:

- Sensor de nivel por flotador
- Sensor de nivel hidrostático
- Sensor de nivel capacitivo
- Sensor de nivel por radar
- Sensor de nivel ultrasónico

En este caso se ha optado por seleccionar el sensor de nivel ultrasónico. Los sensores de nivel por ultrasonidos, o ultrasónicos, se instalan por encima del producto. Su principio de funcionamiento consiste en el emitir impulsos ultrasónicos que se reflejan en la superficie del producto. Midiendo el tiempo de recorrido de la onda entre la emisión y la recepción de la onda reflejada, se puede calcular la distancia entre el sensor y la superficie del producto y, por tanto, el nivel de éste.

Para el presente proyecto, se ha escogido BFL741 de la empresa BELL SYSTEMS debido a las prestaciones que presenta, el rango de medición se adecua a las necesidades de cada uno de los tanques, su instalación es fácil y rápida, presenta un bajo coste y además de contar con un grado de protección IP67 frente a ambientes húmedos.

METODO OPERATIVO



Range	0, 5, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30m		
Blind area	≤0.25~1.5m (according to the measuring range)		
Beam angle	<12°		
Accuracy	±0.25% F.S		
Output	Analog signal	Digital signal	Switch signal
	Two-wire 4~20mA	Three-wire 0~20mA; 4~20mA Load>300Ω; 0~5V; 0~10V	RS485 (support Modbus) NPN
Power supply	DC12~30V		
Consumption	<1.5W		
Frequency	20 KHz~43.0KHz		

Fig. 62 Características Sensor de nivel por ultrasonidos

5.4.2.3. Sensor de PH

Con objeto de conocer la acidez de la solución, se empleará un sensor de PH el cual se situará en el tanque principal.

En este caso se ha seleccionado el sensor TYPE 8202 ESTANDART VARIANT del fabricante BURKERT.



Rango de medida	Consumo	Señal de salida (3 hilos)
-2...16 PH	5 mA	4-20mA

Fig. 63 Características sensor de PH

5.4.2.4. Sensor de Conductividad eléctrica

Del mismo modo, para determinar la conductividad eléctrica de la solución, se requerirá de un sensor de conductividad eléctrica. Al igual que el sensor de PH anteriormente citado, situara sobre el tanque principal.

En este caso se ha seleccionado el sensor TYPE 8222 ESTANDART VARIANT del fabricante BURKERT.



Rango de medida	Consumo	Señal de salida (3 hilos)
0.01 – 1uS/cm	5 mA	4-20mA

5.4.1. Sistema de control

Para hacer que el sistema hidropónico en cuestión funcione de forma autónoma, es necesario utilizar un controlador que permita dotar de autonomía al cultivo.

Para ello se ha utilizado un PLC (programmable logic controller), el cual se define como un sistema de control informático industrial que permite supervisar y automatizar un proceso determinado, realizando para ello continuas comprobaciones de los estados de los dispositivos de entrada, llegando a tomar decisiones basadas en un programa personalizado para controlar el estado de los dispositivos de salida.[49]

Una de las grandes ventajas que tiene es su corto tiempo de respuesta, debido a esto permite controlar en tiempo real multitud de procesos, además, una de sus facilidades es que no tienes que tener conocimientos informáticos avanzados, para poder realizar un programa complejo o para uso en una aplicación industrial.



Fig. 64 Ejemplos de controladores lógicos programables

5.4.1.1. CPU

En primer lugar se seleccionará el tipo de PLC con el que se realizará la automatización del cultivo. En este caso se ha escogido un PLC de la marca Siemens.

Dentro de esta marca existen diferentes modelos dependiendo de la potencia que se requiera en la programación. En este caso se ha seleccionado una CPU de la serie 1500, concretamente el modelo 1513-1 PN con referencia 6ES7513-1AL02-0AB0 siendo esta una de las más recientes dentro de la generación de controladores de TIA PORTAL.



Fig. 65 CPU 1513-1 PN

5.4.1.2. Módulos E/S

En segundo lugar se deberá determinar la cantidad de módulos necesarios con los que poder controlar tanto las entradas y la salida de nuestro sistema. Para ello se deberá en primer lugar conocer la cantidad y el tipo de entradas y salidas de la que dispondrá la instalación.

5.4.1.2.1. Módulos E/S Digitales

La instalación en cuestión presenta un total de 17 entradas digitales, de entre las cuales 15 pertenecen a cada uno de los térmicos de los actuadores de la instalación, mientras que los 2 restantes pertenecen a los pulsadores automático/manual y seta de emergencia. Del mismo modo el sistema cuenta con un total de 15 salidas digitales pertenecientes a los contactores de cada uno de los actuadores.

Teniendo esto en cuenta, se han seleccionado 2 módulos digitales DI 16x24v/DQ 16x24v con referencia 6ES7523-1BL00-0AA0.



Fig. 66 Modulo de E/S digitales DI 16x24v/DQ 16x24v

5.4.1.2.2. Módulos entrada analógicos

De igual forma que para los módulos digitales, se presenta un total de 8 entradas analógicas, todas ellas pertenecientes a cada uno de los sensores de la instalación (temperatura, nivel, PH y CE).

En este caso se ha optado por la selección de dos módulos analógicos AI 8xI con referencia 6ES7531-7KF00-0AB0



Fig. 67 Modulo de E analógicas AI 8xI

5.4.1.3. Pantalla HMI

Las pantallas HMI (Human Machine Interface) son dispositivos electrónicos que permiten establecer una comunicación visual y directa entre el operador y la maquina permitiéndole de este modo realizar operaciones y ajustes del sistema.

De la misma forma, permiten optimizar un proceso digitalizando y centralizando los datos. De esta manera, los operadores pueden ver información importante en gráficos, cuadros de mando digitales, ver y gestionar alarmas, modificar parámetros de producción o iniciar o detener procesos.

En este caso se ha optado por utilizar una pantalla HMI TP1200 Comfort con referencia 6AV2124-0MC01-0AX0.

METODO OPERATIVO



Fig. 68 HMI TP1200 Comfort

Referencia	6AV2124-0MC01-0AX0
Display	TFT
Diagonal de pantalla	12,1"
Resolución	1280 x 800
Tensión	24 V
Consumo	0,85 A

5.4.1.4. Protocolos de comunicación

Un **protocolo de comunicación** es un sistema de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física[50]

En un sistema de control, los dispositivos y componentes pueden estar ubicados en diferentes ubicaciones físicas, como en diferentes salas o incluso en diferentes partes del mundo, y pueden utilizar diferentes tecnologías y lenguajes de programación.[41]

Algunos ejemplos de protocolos de comunicación utilizados en sistemas de control incluyen Modbus, Profibus, Profinet, Ethernet/IP, DeviceNet, CANbus y muchos otros. Estos protocolos se utilizan en diferentes aplicaciones y entornos, y pueden ser compatibles con diferentes tipos de hardware y software de control.

Dentro de la industria de la automatización, los protocolos más utilizados son:

5.4.1.4.1. PROFIBUS

Su nombre proviene de "Process Field Bus", que describe su función en la automatización de procesos industriales. Está basado en RS-485, el cual es un método común de comunicación serial.

En una red PROFIBUS, existen maestros y esclavos PROFIBUS. Los maestros pueden ser, por ejemplo, PLC, PAC o DCS y los esclavos pueden ser una amplia gama de dispositivos: drives, motores, I/O, sensores, dispositivos en campo, robots, actuadores y mucho más.

El principio general de PROFIBUS es recopilar diferentes entradas y salidas del campo en un solo dispositivo de I/O local, y luego transferir los datos a través de un solo cable hasta el maestro[51]

Se divide en dos variantes principales: PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery) y PROFIBUS-PA (Process Automation). PROFIBUS-DP se utiliza para la comunicación de dispositivos periféricos con controladores en tiempo real, mientras que PROFIBUS-PA se utiliza para la comunicación de dispositivos de campo en procesos de automatización de procesos continuos.[41]

5.4.1.4.2. PROFINET

Está basado en Ethernet estándar. Permite la transferencia de datos en tiempo real, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de control de procesos en tiempo real.

Se divide en tres variantes principales: PROFINET-CBA (Component Based Automation), PROFINET-IO (Input-Output) y PROFINET-IRT (Isochronous Real-Time). PROFINET-CBA se utiliza para la comunicación de dispositivos complejos y sistemas de automatización, mientras que PROFINET-IO se utiliza para la comunicación de dispositivos de entrada y salida. PROFINET-IRT se utiliza para la comunicación en tiempo real y es adecuado para aplicaciones de control de procesos críticos.[41]

5.4.1.5. Elementos de control

5.4.1.5.1. Selector automático/manual

Como su nombre indica, es el encargado de hacer que el sistema se encuentre en modo automático o manual en función de la posición en la que se encuentre.

En este caso se ha escogido un selector Harmony XB4 del fabricante Schneider electric:



Fig. 69 Selector automático/manual

5.4.1.5.1. Seta de emergencia

Elemento indispensable en cualquier tipo de instalación frente a cualquier tipo de problema que pueda surgir durante el funcionamiento de cualquier máquina.

La función principal de la seta de emergencia es la de asegurar la integridad tanto del operador como de la maquina o sistema que se encuentra funcionando. Para rearmar el enclavamiento de la misma, basta con girar en sentido horario el piloto rojo con el que cuenta por defecto.

En esta ocasión se ha seleccionado una seta de emergencia ABW401 NEMA



Fig. 70 Seta de emergencia

5.4.1.5.2. Relé térmico

Es un elemento que permite proteger a los motores eléctricos de cualquier tipo de sobrecarga producida en una de las líneas de alimentación. Para proteger a todos los actuadores, se ha seleccionado el relé térmico TeSys LR2K de la marca Schenider electric, capaz de soportar corrientes de entre 3,7 y 5,5 A.



Fig. 71 Relé térmico TeSys LR2K

5.4.1.5.3. Contactores

El Contactor es un dispositivo eléctrico que puede cerrar o abrir circuitos en carga o en vacío. Su funcionamiento se asemeja al de un relé, solo que estos pueden manejar corrientes de operación mucho más elevadas. En este caso se ha seleccionado un contactor TeSys CAD323 de la marca Scheneider.



Fig. 72 Contactor TeSys CAD323

METODO OPERATIVO

5.4.1.6. Fuente de alimentación

Antes de elegir la fuente de alimentación, se deberá comprobar si la fuente de alimentación interna de la propia CPU es capaz de alimentar a la totalidad de los módulos de la instalación:

CPU	24 VDC						
CPU 1513C-1 PN	700mA	REF SISTEMA	CTDAD MODULOS	ENTRADAS	SALIDAS	CORRIENTE (mA)	CORRIENTE (mA) a 24VDC
		MODULO DIGITAL 6ES7523-1BL00-0AA0	2	16	1	30	960
		MODULO DIGITAL 6ES7523-1BL00-0AA1	2	1	16	30	960
		MODULO ANALOGICO 6ES7531-7KF00-0AB0	2	1	16	240	7680
		HMI 6AV2124-0MC01-0AX0	1	1	1	850	850
CONSUMO TOTAL							10450

Como se puede comprobar, la fuente interna de la CPU no es capaz de proporcionar la energía suficiente a cada uno de los módulos.

Es por ello que se decide escoger una fuente de alimentación teniendo para ello en cuenta todos los componentes de la instalación tal como se muestra en la siguiente tabla:

DESCRIPCION	REFERENCIA	TENSION(V)	In (A)	POTCAL(w)
C1 24V.1 E.ALIMENTACION		24	2,09	50,16
CPU	6ES7513-AL02-0AB0	24	0,7	16,8
MODULO DIGITAL	6ES7523-1BL00-0AB0	24	0,03	0,72
MODULO DIGITAL	6ES7523-1BL00-0AB0	24	0,03	0,72
MODULO ANALOGICO	6ES7531-7KF00-0AB0	24	0,24	5,76
MODULO ANALOGICO	6ES7531-7KF00-0AB0	24	0,24	5,76
PANTALLA_HMI	6AV2124-0MC01	24	0,85	20,4
C2 24V.2 ENTRADAS DIGITALES		24	5,018	120,432
S_MAN_AUTO	Harmony XB4	24	0,018	0,432
S_EMERGENCIA	ABW101	24	5	120
RELE TERMICO BT	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BA	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BPH+	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BPH-	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BCE+	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BCE-	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO AGITADOR	TeSys LR2K	24	0,083	2,0

METODO OPERATIVO

RELE TERMICO BT	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BT	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO BT	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V1	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V2	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V3	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V4	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V5	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO V6	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO CAL 1	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
RELE TERMICO CAL 2	TeSys LR2K	24	0,083	2,0
C2 24V.3 SALIDAS DIGITALES		24	1,5	36
CONTACTOR BT	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR BA	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR BPH+	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR BPH-	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR BCE+	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR BCE-	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR AGITADOR	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V1	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V2	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V3	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V4	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V5	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR V6	TeSys CAD323	24	0,1	2,4
CONTACTOR CAL1	TeSys CAD336	24	0,1	2,4
CONTACTOR CAL2	TeSys CAD336	24	0,1	2,4
C3 24V.3 SENSORES		24	0,3665	8,796
SENSOR U_S BT	BFL741	24	0,0625	1,5
SENSOR U_S PH+	BFL741	24	0,0625	1,5
SENSOR U_S PH-	BFL741	24	0,0625	1,5
SENSOR U_S CE+	BFL741	24	0,0625	1,5
SENSOR U_S CE-	BFL741	24	0,0625	1,5
SENSOR PH	TYPE 8202 STANDARD VARIANT	24	0,005	0,12
SENSOR CE	TYPE 8222 STANDARD VARIANT	24	0,005	0,12
SENSOR T ^º	AUTF/MU	24	0,044	1,056
TOTAL			8,9745	215,388
FUENTE	6EP1334-2BA20	230	10	288

METODO OPERATIVO

De esta forma podemos ver que el consumo de corriente total de la instalación será de 7,647 A, por lo que se decide seleccionar una fuente de alimentación normalizada capaz de suministrar una corriente superior a la obtenida.

En este caso se ha seleccionado una fuente de alimentación SITOP PSU100S/1AC/DC24V/10 A con referencia 6EP1334-2BA20.



Fig. 73 Fuente de alimentación SITOP 10 A

5.5. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

A continuación se mostrarán los cálculos asociados para el dimensionamiento de la instalación eléctrica. La normativa a aplicar en la presente memoria deberá satisfacer, entre otras, con el **REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (REBT) (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto)**, así como con sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Debido a que en este reglamento se presenta la ausencia de uno de los tipos de métodos de instalación (tubos unipolares enterrados) se ha hecho uso del prontuario del fabricante **prysmian** a modo de complementación junto con este reglamento.

5.5.1. Metodología

En primer lugar, se selecciona una línea desde la derivación individual hasta la máquina receptora y se calcula su sección manualmente, siguiendo los criterios de calentamiento y de caída de tensión, para conocer el proceso a seguir para el dimensionado de las líneas.

5.5.1.1. Dimensionamiento de la línea

La línea que se va a dimensionar es la línea que parte desde la derivación individual (línea incluida) hasta la bomba del tanque principal.

5.5.1.2. Descripción de las partes de la línea

La línea en cuestión consta de 3 partes

- Derivación individual

El carácter de la línea es trifásica, la longitud de la línea es de 56 metros (hasta acometida, debe soportar la potencia total de la instalación (16829,6 W) y la instalación de la línea es por medio de tubos unipolares enterrados. (método D según prontuario prysmian)

- Subcuadro C1

El carácter de la línea es trifásica, la longitud de la línea es de 3 metros (hasta C.G), debe soportar la potencia total de las bombas principal, acequia y agitador (2198,8 W) y la instalación de la línea es por medio de montaje superficial (método B1)

- Bomba principal

El carácter de la línea es monofásica, la longitud de la línea es de 6 metros (hasta el subcuadro C1), la potencia de la carga en cuestión es de 690 W y la instalación de la línea es por medio de montaje superficial (método B1)

Para el cálculo de la potencia de cada línea, se han tenido en cuenta los motores que alimenta, multiplicando por 1,25 su intensidad nominal como exige el reglamento (ITC BT-47).

$$I_B = 1,25 * I_{MAX} + \sum_{i=2}^n I_i$$

Para el dimensionado de las líneas se debe seguir con las normas del reglamento electrotécnico ITCBT-19 (para instalaciones interiores) donde se hace referencia a la norma UNE 20-460-5-523-2004 aplicada a cables aislados de tensión nominal de aislamiento de hasta 1000 V.

METODO OPERATIVO

El criterio de calentamiento es el siguiente:

$$I_B/K \rightarrow Tablas(S) \rightarrow I_{TB} > I_B/K$$

$$I_Z = I_{TB} * K$$

Donde:

I_B : intensidad de diseño

K : coeficiente corrector según las condiciones de instalación conductor.

I_{TB} : es la intensidad que aparece en tablas de la Norma UNE 20-460-5-523 2004 para las condiciones tipo de la instalación.

I_Z : es la intensidad admisible en el conductor en las condiciones en que se instala.

Todas las líneas llevan conductor de protección que se calcula según el ITC BT-18 donde se impone el siguiente criterio para seleccionar su sección.

El cálculo de la sección de los conductores de fase se realizará por medio de las diferentes tablas facilitadas en la norma, a continuación se añade la tabla A52-1 donde se puede ver claramente el método de selección de la dimensión de los conductores.

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
$S \leq 16$	S (*)
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Según el material del aislamiento y el número de conductores, conociendo la intensidad de diseño de la línea, obtenemos la sección del cable.

Tabla 6 Intensidades admisibles al aire 40°C. N.º de conductores con carga y naturaleza de aislamiento.

	Diagrama	Descripción	3x PVC		2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes												
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra								3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared					3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0.3D						3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D						3x PVC				3x XLPE o EPR		
G		Cables unipolares separados mínimo D									3x PVC		3x XLPE o EPR	
Cobre	mm²		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	-	18	21	24	-	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	-	25	29	33	-	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	-	34	38	45	-	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	-	44	49	57	-	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	-	60	68	76	-	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	-	80	91	105	-	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	144	154	206
	35													
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250		
	70				149	160	171	188	202	224	244	321		
	95				180	194	207	230	245	271	296	391		
	120				208	225	240	267	284	314	348	455		
150				236	260	278	310	338	363	404	525			
185				268	297	317	354	386	415	464	601			
240				315	350	374	419	455	490	552	711			
300				360	404	423	484	524	565	640	821			

Dependiendo de si el carácter de la línea es monofásica o trifásica se deberá determinar el valor de la corriente la sección y la caída de tensión a través de las siguientes formulas:

MONOFÁSICA

Cálculo de la Intensidad de línea

$$P = V * I * \cos \theta \rightarrow I = \frac{P}{V * \cos \theta}$$

Donde:

- P: potencia eléctrica
- V: tensión de alimentación (230 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- cos θ : factor de potencia (generalmente 0,85)

METODO OPERATIVO

Calcula de la sección teórica

$$S = \frac{2 * L * I * \cos \theta}{\rho * e}$$

Donde:

- L: longitud de la línea
- V: tensión de alimentación (230 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- ρ : Conductividad eléctrica del conductor
- e: Caída de tensión máxima admisible. (según ITC BT-19 5% Fuerza y 3% alumbrado)

Comprobación de la caída de tensión

$$e = \frac{2 * L * I * \cos \theta}{\rho * S_{tabla}}$$

- L: longitud de la línea
- V: tensión de alimentación (230 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- ρ : Conductividad eléctrica del conductor
- S: Sección escogida de la tabla 1 del ITC-BT-19

TRIFÁSICA

Cálculo de la Intensidad de línea

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \theta \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \theta}$$

Donde:

- P: potencia eléctrica
- V: tensión de alimentación (400 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- $\cos \theta$: factor de potencia (generalmente 0,85)

Calcula de la sección teórica

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos \theta}{\rho * e}$$

Donde:

- L: longitud de la línea
- V: tensión de alimentación (400 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- ρ : Conductividad eléctrica del conductor
- e: Caída de tensión máxima admisible. (según ITC BT-19 5% Fuerza y 3% alumbrado)

Comprobación de la caída de tensión

$$e = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos \theta}{\rho * S_{tabla}}$$

- L: longitud de la línea
- V: tensión de alimentación (400 V)
- I: Corriente eléctrica (A)
- ρ : Conductividad eléctrica del conductor
- S: Sección escogida de la tabla 1 del ITC-BT-19

Tabla 7 Valores de conductividad eléctrica del cobre y aluminio

MATERIAL	Y1	Y2	Y3
Cobre	56	48,47	44
Aluminio	35	29,67	27,8
Temperatura	20°C	70°C	90°C

METODO OPERATIVO

5.5.2. Cálculo del dimensionado de la línea

➤ **Derivación individual**

Datos:

Carácter línea → Trifásico → V=400V

Instalación → XLPE Tubos unipolares enterrados → Método D

- L=56m
- P=16829,6 W
- $\cos \theta = 1$

Método por calentamiento

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \theta \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} = \frac{16829,6}{\sqrt{3} * 400 * 1} = 24,29 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta esta intensidad se va a la tabla A52-1 del prontuario prysmian y se obtiene una sección de 2,5mm²

Número de conductores con carga y naturaleza del aislamiento															
A1			PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C								
A2		PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C									
B1					PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C					
B2				PVC3 70 °C	PVC2 70 °C		XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C							
C						PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C				
D*		VER SIGUIENTE TABLA													
E							PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C		XLPE2 90 °C			
F								PVC3 70 °C		PVC2 70 °C	XLPE3 90 °C	XLPE2 90 °C			
		mm ²	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	25

*** Método D**

		Sección mm ²	1,5	2,5	4
Cobre	PVC2		20,5	27,5	36
	PVC3		17	22,5	29
	XLPE2		24,5	32,5	42
	XLPE3		21	27,5	35
Aluminio	XLPE2				
	XLPE3				

$$e = \frac{L * P}{\rho * S_{tabla} * V} = \frac{56 * 16829,6}{45,49 * 2,5 * 400} = 20,71 V$$

$$e\% = \frac{e * 100}{400} = 5,117\% > 1,5\% \rightarrow NO CUMPLE$$

Dado que no cumple seleccionamos nuevamente en la tabla la sección inmediatamente superior. De esta forma se obtiene una sección de 4mm²

*** Método D**

	Sección mm ²	1,5	2,5	4	6
Cobre	PVC2	20,5	27,5	36	44
	PVC3	17	22,5	29	37
	XLPE2	24,5	32,5	42	53
	XLPE3	21	27,5	35	44
Aluminio	XLPE2				
	XLPE3				

$$e = \frac{L * P}{\rho * S_{tabla} * V} = \frac{56 * 16829,6}{45,49 * 4 * 400} = 12,94 V$$

$$e\% = \frac{e * 100}{400} = 3,23\% > 1,5\% \rightarrow NO CUMPLE$$

Dado que no cumple volvemos a seleccionar una sección superior. En esta Ocasión se decide escoger una sección de 10mm²

$$e = \frac{L * P}{\rho * S_{tabla} * V} = \frac{56 * 16829,6}{45,49 * 10 * 400} = 5,17 V$$

$$e\% = \frac{e * 100}{400} = 1,29\% < 1,5\% \rightarrow CUMPLE$$

Por lo tanto se decide escoger una sección de 10mm²

Método de caída de tensión

Este método permite determinar de forma directa la mínima sección necesaria para que se produzca la máxima caída de tensión admisible. De esta forma se obtiene:

$$e_{adm} = 1,5\% * 400 = 6 V$$

$$S = \frac{L * P}{\rho * e_{adm} * V} = \frac{56 * 16829,6}{45,49 * 6 * 400} = 8,63mm^2$$

A continuación se busca en la tabla el valor de sección superior al valor obtenido. De esta forma se obtiene una sección de 10mm² capaz de soportar una corriente de 58A.

METODO OPERATIVO

A continuación se procede a seleccionar la sección del neutro y de la tierra. Para ello utilizamos la tabla 2 del ITC-BT-19 obteniendo de esta forma una sección neutra de 10mm² y una sección de conductor de tierra de igual sección.

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

De esta forma se obtienen finalmente tres fases de 10mm² más el conductor de protección de la misma sección:

3 x 10mm² + TT 10mm²

Para finalizar el cálculo de esta línea, se selecciona la sección del tubo de los cables a conducir. Para ello se utiliza la tabla 5 de la ITC-BT-21. De esta forma se obtiene una sección de 32mm

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	-
150	50	63	75	-	-
185	50	75	-	-	-
240	63	75	-	-	-

➤ **Subcuadro C1**

Datos:

Carácter línea → Trifásico → V=400V

Instalación → XLPE Montaje superficial → Método B1

- L=3m
- P=2198.8 W
- cos θ = 1

Método por calentamiento

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \theta \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} = \frac{2198,8}{\sqrt{3} * 400 * 1} = 3,17 A$$

Teniendo en cuenta esta intensidad se va a la tabla A52-1 del ITC-BT-19 y se obtiene una sección de 1,5mm²

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ¹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ ? Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁶⁾ ? Distancia a la pared no inferior a D ⁷⁾					3x PVC			3x XLPE o EPR ⁸⁾			
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁹⁾								3x PVC ¹⁰⁾			3x XLPE o EPR
			mm ²										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24
			4	20	21	23	24	27	30	-	34	39	45
			6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57
			10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76
			16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105
			25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123
			35		77	86	95	104	110	119	131	144	154
			50		94	103	117	125	133	145	159	175	188
			70				149	160	171	188	202	224	244
			95				180	194	207	230	245	271	296
			120				208	225	240	267	284	314	348
			150				236	250	278	310	338	363	404
			185				268	297	317	354	386	415	464
			240				315	350	374	419	455	490	552
			300				360	404	423	484	524	565	640

$$e = \frac{L * P}{\rho * S_{tabla} * V} = \frac{3 * 2198,8}{45,49 * 1,5 * 400} = 0,24 V$$

$$e\% = \frac{e * 100}{400} = 0,06\% < 5\% \rightarrow CUMPLE$$

Por lo tanto se decide escoger una sección de 1,5mm²

Método de caída de tensión

Este método permite determinar de forma directa la mínima sección necesaria para que se produzca la máxima caída de tensión admisible. De esta forma se obtiene:

$$e_{adm} = 5\% * 400 = 20 V$$

$$S = \frac{L * P}{\rho * e_{adm} * V} = \frac{3 * 2198,8}{45,49 * 20 * 400} = 0,018 mm^2$$

A continuación se busca en la tabla el valor de sección superior al valor obtenido. De esta forma se obtiene una sección de 1,5mm² capaz de soportar una corriente de 18A.

A continuación se procede a seleccionar la sección del neutro y de la tierra. Para ello utilizamos la tabla 2 del ITC-BT-19 obteniendo de esta forma una sección neutra de 10mm² y una sección de conductor de tierra de igual sección.

METODO OPERATIVO

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

De esta forma se obtienen finalmente tres fases de 10mm² más el conductor de protección de la misma sección:

$$3 \times 1,5\text{mm}^2 + \text{TT } 1,5\text{mm}^2$$

Para finalizar el cálculo de esta línea, se selecciona la sección del tubo de los cables a conducir. Para ello se utiliza la tabla 5 de la ITC-BT-21. De esta forma se obtiene una sección de 16mm

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	-
150	50	63	75	-	-
185	50	75	-	-	-
240	63	75	-	-	-

➤ **Bomba principal**

Datos:

Carácter línea → Monofásico → V=230V

Instalación → PVC Montaje superficial → Método B1

- L=6m
- P=690 W
- $\cos \theta = 0,8$
- Factor de corrección del 125% (ITC-BT-47)

Método por calentamiento

$$P = V * I * \cos \theta \rightarrow I = \frac{P}{V * \cos \theta} = \frac{690}{230 * 0,8} = 3,75 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta esta intensidad se va a la tabla A52-1 del ITC-BT-19 y se obtiene una sección de 1,5mm²

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR								
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3D						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D						3x PVC			3x XLPE o EPR				
G		Cables unipolares separados mínimo D							3x PVC			3x XLPE o EPR			
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-		
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-		
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-		
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-		
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-		
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-		
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166		
		35		77	86	96	104	119	119	131	144	154	206		
		50			94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	
		70					149	160	171	188	202	224	244	321	
		95					180	194	207	230	245	271	296	391	
		120					208	225	240	267	284	314	348	455	
		150					236	260	278	310	338	363	404	525	
185					268	297	317	354	386	415	464	601			
240					315	350	374	419	455	490	552	711			
300					360	404	423	484	524	565	640	821			

$$e = \frac{2 * L * P}{\rho * S_{tabla} * V} = \frac{2 * 6 * 690}{48,47 * 1,5 * 230} = 0,49 V$$

$$e\% = \frac{e * 100}{230} = 0,215\% < 5\% \rightarrow CUMPLE$$

Por lo tanto se decide escoger una sección de 1,5mm²

Método de caída de tensión

Este método permite determinar de forma directa la mínima sección necesaria para que se produzca la máxima caída de tensión admisible. De esta forma se obtiene:

$$e_{adm} = 5\% * 230 = 11,5 V$$

$$S = \frac{2 * L * P}{\rho * e_{adm} * V} = \frac{2 * 6 * 690}{48,47 * 11,5 * 230} = 0,064mm^2$$

A continuación se busca en la tabla el valor de sección superior al valor obtenido. De esta forma se obtiene una sección de 1,5mm² capaz de soportar una corriente de 15A.

A continuación se procede a seleccionar la sección del neutro y de la tierra. Para ello utilizamos la tabla 2 del ITC-BT-19 obteniendo de esta forma una sección neutra de 10mm² y una sección de conductor de tierra de igual sección.

METODO OPERATIVO

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
S ≤ 16	S (*)
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

De esta forma se obtienen finalmente tres fases de 10mm² más el conductor de protección de la misma sección:

3 x 1,5mm² + TT 1,5mm²

Para finalizar el cálculo de esta línea, se selecciona la sección del tubo de los cables a conducir. Para ello se utiliza la tabla 5 de la ITC-BT-21. De esta forma se obtiene una sección de 16mm

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	-
150	50	63	75	-	-
185	50	75	-	-	-
240	63	75	-	-	-

5.5.1. Resultado del dimensionado de las líneas de la instalación

A continuación se muestra la tabla completa con los cálculos eléctricos de cada uno de los componentes:

DESCRIPCION	REFERENCIA	Tensión(V)	Fcor	COS φ	Pot(w)	Potcal(w)	In (A)	PIA (A)	Long(m)	Material	CONDUCTIVIDAD	Scal(mm2)	Stabla(mm2)	c.d.t	c.d.t (%)	Cable
DERI.INDIVIDUAL		400	1	1	16829,6	16829,6	24,3202312	25	56	Cu	45,49	8,63246135	10	5,17947681	1,2948692	XLPE
C1	IMPULSO PRINCIPAL	400	1	1	2198,8	2198,8	3,17745665	10	3	Cu	45,49	0,01812596	1,5	0,24167949	0,06041987	XLPE
BOMBA TANQUE	NOVA 600	230	1,25	0,8	690	862,5	4,6875	6	6	Cu	48,47	0,08073125	1,5	0,61893955	0,26910415	PVC
BOMBA ACEQUIA	HIDROBEX XKS-750S	230	1,25	0,8	759	948,75	5,15625	6	8	Cu	48,47	0,11840583	1,5	0,90777801	0,39468609	PVC
AGITADOR	HAT-05 03 R 02	230	1,25	0,8	749,8	937,25	5,09375	6	6	Cu	48,47	0,08772795	1,5	0,67258098	0,29242651	PVC
C2	IMPULSO SECUNDARIO	400	1	1	101,2	101,2	0,14624277	2	1	Cu	45,49	0,00027808	1,5	0,00370777	0,00092694	XLPE
BOMBA PH+	EB-305	230	1,25	0,8	25,3	31,625	0,171875	2	3	Cu	48,47	0,00148007	1,5	0,01134723	0,00493358	PVC
BOMBA PH-	EB-305	230	1,25	0,8	25,3	31,625	0,171875	2	3	Cu	48,47	0,00148007	1,5	0,01134723	0,00493358	PVC
BOMBA CE+	EB-305	230	1,25	0,8	25,3	31,625	0,171875	2	6	Cu	48,47	0,00296015	1,5	0,02269445	0,00986715	PVC
BOMBA CE-	EB-305	230	1,25	0,8	25,3	31,625	0,171875	2	6	Cu	48,47	0,00296015	1,5	0,02269445	0,00986715	PVC
C3	VENTILACION	400	1	1	1242	1242	1,79479769	2	8,8	Cu	45,49	0,03003297	1,5	0,40043966	0,10010991	XLPE
VENTILADOR 1	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	18	Cu	48,47	0,07265812	1,5	0,5570456	0,24219374	PVC
VENTILADOR 2	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	12	Cu	48,47	0,04843875	1,5	0,37136373	0,16146249	PVC
VENTILADOR 3	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	6	Cu	48,47	0,02421937	1,5	0,18568187	0,08073125	PVC
VENTILADOR 4	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	21	Cu	48,47	0,08476781	1,5	0,64988653	0,28255936	PVC
VENTILADOR 5	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	15	Cu	48,47	0,06054843	1,5	0,46420466	0,20182811	PVC
VENTILADOR 6	T4E45DAM80100	230	1,25	0,8	207	258,75	1,40625	2	9	Cu	48,47	0,03632906	1,5	0,2785228	0,12109687	PVC
C4	CALFACCION	400	1	1	12999,6	12999,6	18,7855491	20	6	Cu	45,49	0,21432623	1,5	2,85768301	0,71442075	XLPE
CALEFACTOR 1	KRUGER DRACO 15	230	1,25	0,8	6499,8	8124,75	44,15625	50	12	Cu	48,47	1,52097667	6	2,91520528	1,26748056	PVC
CALEFACTOR 2	KRUGER DRACO 15	230	1	0,8	6499,8	6499,8	35,325	40	21	Cu	48,47	2,12936734	6	4,08128739	1,77447278	PVC
C5	CONTROL PLC	400	1	1	288	288	0,41618497	1,5	2	Cu	45,49	0,00158277	1,5	0,02110354	0,00527588	XLPE
FUENTE PLC	6EP1334-2BA20	230	1	1	288	288	1,25217391	2	2	Cu	48,47	0,00898574	1,5	0,06889066	0,02995246	PVC

5.6. PROGRAMACIÓN DEL PLC

Este es el principal apartado en el que se ha basado el desarrollo del proyecto. Para ello se ha utilizado el software TIA PORTAL concretamente la versión 15 del fabricante SIEMENS siendo uno de los más utilizados dentro del mercado de la automatización.

La programación del sistema se ha realizado mediante la utilización de los lenguajes de programación KOP (lenguaje de contactos) y AWL (lenguaje en lista de instrucciones orientado a máquina) permitiendo de este modo obtener las ventajas que ofrece cada uno de los lenguajes.



Fig. 74 Software TIA PORTAL V15

5.6.1. Configuración del software

En primer lugar se deberá establecer la configuración de la instalación.

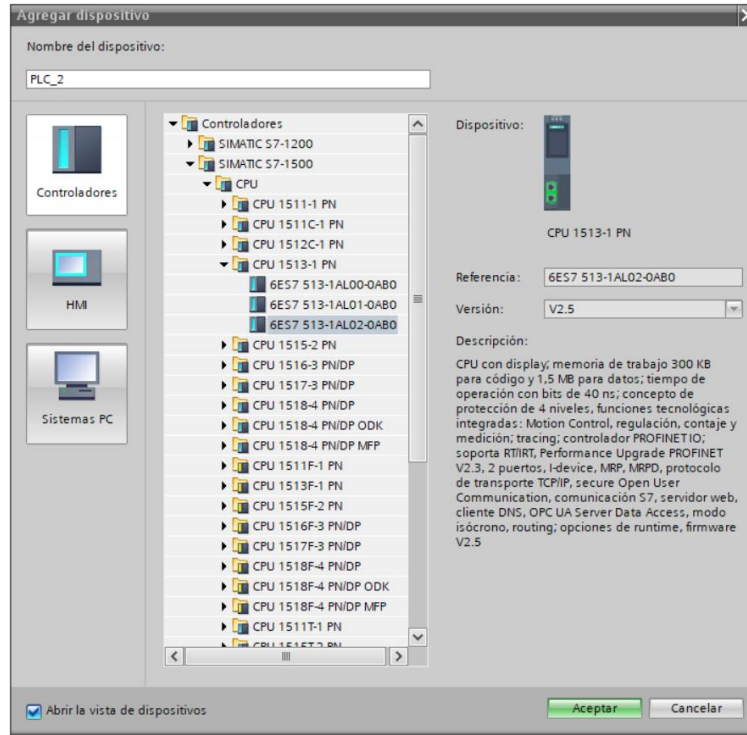


Fig. 75 Selección de CPU

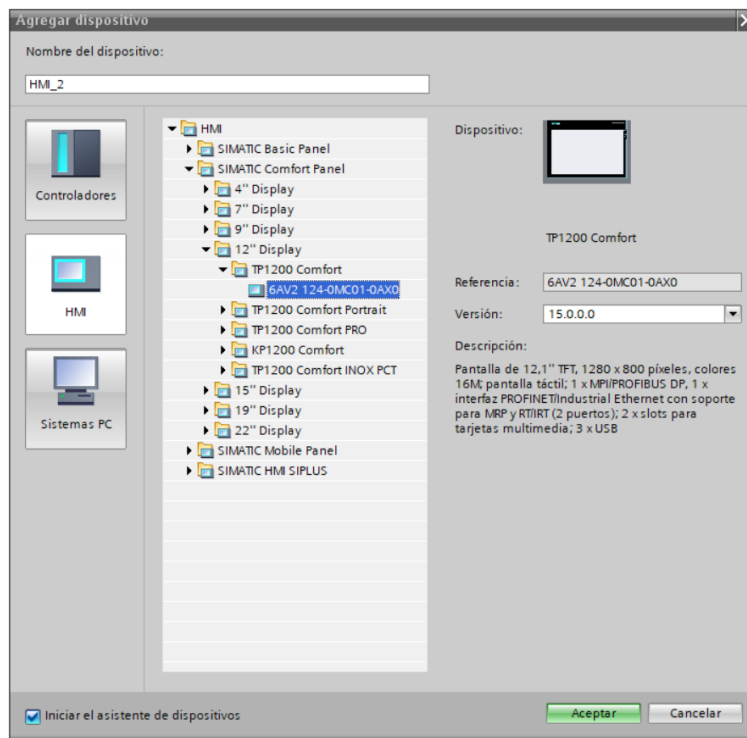


Fig. 76 Selección de HMI

METODO OPERATIVO

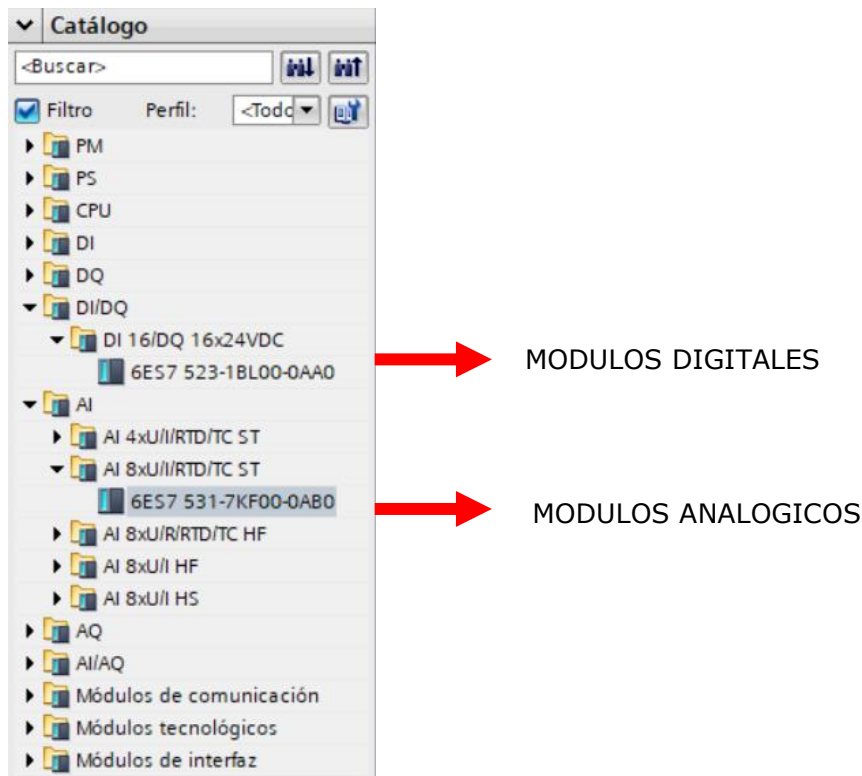


Fig. 77 Módulos digitales y analógicos



Fig. 78 Configuración general del sistema

Para establecer la comunicación entre el PLC y el HMI se utilizará el protocolo de comunicación PROFINET I/E

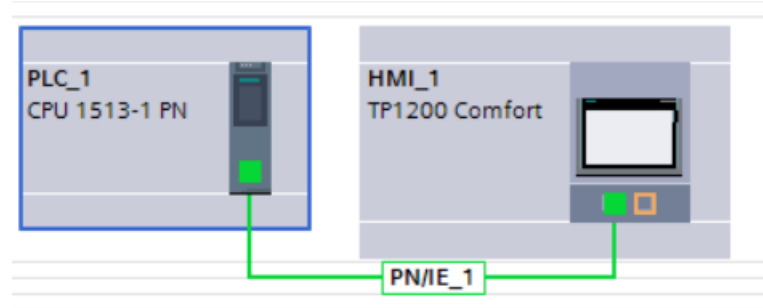


Fig. 79 Conexión PLC-HMI

5.6.2. Organización del programa

El programa se organiza de la siguiente forma:

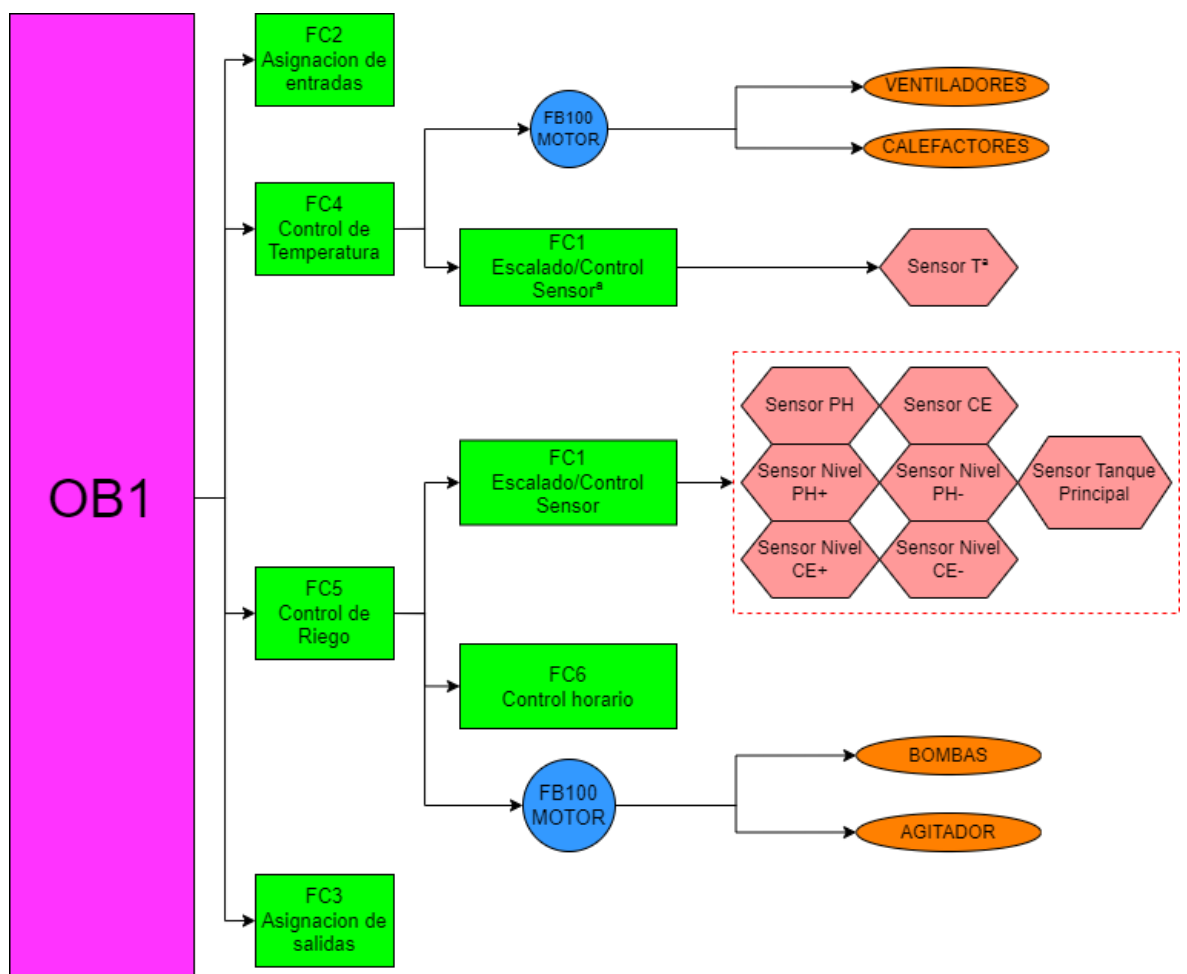


Fig. 80 Organigrama programa

METODO OPERATIVO

Donde:

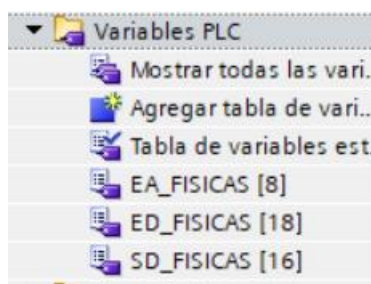
- **OB1**: Estos bloques constituyen la interface entre el sistema operativo del PLC y el programa de usuario. El programa completo puede almacenarse en un OB, que es ejecutado cíclicamente por el sistema operativo (programa lineal) o puede dividirse y almacenarse en distintos bloques (programa estructurado). El programa principal es siempre el bloque de organización llamado OB1.
- **FC**: Una FC es un bloque lógico que generalmente realiza una operación específica con una serie de valores de entrada. La FC almacena los resultados de esta operación en posiciones de memoria las cuales se utilizan para realizar operaciones estándar y reutilizables que se pueden llamar varias veces en diferentes puntos de un programa. facilitando la programación de tareas que se repiten con frecuencia. Las FC no tienen bloques de datos DB asociados.
- **FB**: Se presenta como una función con memoria (DB). El FB almacena los parámetros de E/S en una memoria variable integrada en un bloque de datos (DB), o en un DB "instancia". Los bloques de función están concebidos para tareas muy repetitivas o funcionalidades complejas, como tareas de control en lazo cerrado.
- **DB**: Los bloques de datos (DB) son áreas de datos del programa de usuario en las que los datos son distribuidos de forma estructurada.

5.6.3. Variables y bloques de datos

En primer lugar se deberán definir las variables del programa con las que se va a trabajar. Para la asignación de cada una de ellas se ha realiza de dos formas diferentes:

5.6.3.1. Variables del PLC E/S Físicas

Dentro de este tipo de variables se engloban todas aquellas variables relativas a los componentes físicos de la instalación ya sean actuadores o sensores.



ED_FISICAS				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...
	SetaEmergencia	Bool	%E0.0	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_Principal	Bool	%E2.0	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_Acequia	Bool	%E2.1	<input type="checkbox"/>
	Termico_Agitador	Bool	%E2.2	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_PH+	Bool	%E2.3	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_PH-	Bool	%E2.4	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_CE+	Bool	%E2.5	<input type="checkbox"/>
	Termico_Bomb_CE-	Bool	%E2.6	<input type="checkbox"/>
	Termico_Vent_1	Bool	%E2.7	<input type="checkbox"/>
0	Termico_Vent_2	Bool	%E3.0	<input type="checkbox"/>
1	Termico_Vent_3	Bool	%E3.1	<input type="checkbox"/>
2	Termico_Vent_4	Bool	%E3.2	<input type="checkbox"/>
3	Termico_Vent_5	Bool	%E3.3	<input type="checkbox"/>
4	Termico_Vent_6	Bool	%E3.4	<input type="checkbox"/>
5	Termico_Cal_1	Bool	%E3.5	<input type="checkbox"/>
5	Termico_Cal_2	Bool	%E3.6	<input type="checkbox"/>
7	Reserva	Bool	%E3.7	<input type="checkbox"/>
8	ntrigger	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>
9	<Agregar>			<input type="checkbox"/>

Fig. 81 Entrada digitales Físicas

Dentro de este grupo de variables se encuentran todos los térmicos de los motores de la instalación además de los correspondientes selector auto/manual y seta de emergencia.

METODO OPERATIVO

SD_FISICAS				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_Principal	Bool	%A2.0	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_Acequia	Bool	%A2.1	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_Agitador	Bool	%A2.2	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_PH+	Bool	%A2.3	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_PH-	Bool	%A2.4	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_CE+	Bool	%A2.5	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Bomb_CE-	Bool	%A2.6	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_1	Bool	%A2.7	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_2	Bool	%A3.0	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_3	Bool	%A3.1	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_4	Bool	%A3.2	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_5	Bool	%A3.3	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Vent_6	Bool	%A3.4	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Cal_1	Bool	%A3.5	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Km_Cal_2	Bool	%A3.6	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Reserva_1	Bool	%A3.7	<input type="checkbox"/>
	<Agregar>			<input type="checkbox"/>

Fig. 82 Salidas digitales físicas

Dentro de este grupo se encuentran todas las salidas digitales referentes a los contactores de cada uno de los actuadores

EA_FISICAS			
	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	<input type="checkbox"/> S_T ^º	Int	%EW4
2	<input type="checkbox"/> S_PH	Int	%EW6
3	<input type="checkbox"/> S_CE	Int	%EW8
4	<input type="checkbox"/> S_LVL_T_PRINC	Int	%EW20
5	<input type="checkbox"/> S_LVL_PH+	Int	%EW22
6	<input type="checkbox"/> S_LVL_PH-	Int	%EW24
7	<input type="checkbox"/> S_LVL_CE+	Int	%EW26
8	<input type="checkbox"/> S_LVL_CE-	Int	%EW28
9	<Agregar>		

Fig. 83 Entradas analógicas físicas

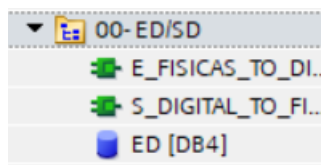
Dentro de este grupo se hace referencia a todas las entradas analógicas de los sensores de la instalación.

5.6.3.1. Variables de bloques de datos

Como se ha comentado con anterioridad, un bloque de datos son áreas de datos del programa de usuario en las que los datos son distribuidos de forma estructurada.

De esta forma podemos agrupar el código de una forma mucho más organizada y clara:

5.6.3.1.1. DB4 Entradas digitales



ED					
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...
	Static				<input type="checkbox"/>
	SETA EMERGENCIA	Bool	0.0	false	<input type="checkbox"/>
	SEL_AUTO	Bool	0.1	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_Princ	Bool	0.2	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_Ace...	Bool	0.3	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_Agit...	Bool	0.4	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_PH+	Bool	0.5	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_PH-	Bool	0.6	false	<input type="checkbox"/>
0	eTermico_Bomb_CE+	Bool	0.7	false	<input type="checkbox"/>
	eTermico_Bomb_CE-	Bool	1.0	false	<input type="checkbox"/>
1	eTermico_Vent_1	Bool	1.1	false	<input type="checkbox"/>
2	eTermico_Vent_2	Bool	1.2	false	<input type="checkbox"/>
3	eTermico_Vent_3	Bool	1.3	false	<input type="checkbox"/>
4	eTermico_Vent_4	Bool	1.4	false	<input type="checkbox"/>
5	eTermico_Vent_5	Bool	1.5	false	<input type="checkbox"/>
5	eTermico_Vent_6	Bool	1.6	false	<input type="checkbox"/>
7	eTermico_Cal_1	Bool	1.7	false	<input type="checkbox"/>
8	eTermico_Cal_2	Bool	2.0	false	<input type="checkbox"/>

Fig. 84 Entradas digitales

Con este bloque de datos se pretende guardar la dirección de las variables físicas anteriormente definidas.

METODO OPERATIVO

De este modo se consigue que en caso de realizar cualquier modificación futura en la instalación, la dirección del nuevo componente permanezca invariable, ya que al realizar la programación sin este método, cada vez que se incorporara cualquier elemento, durante la etapa de programación sería necesario especificar la dirección concreta de la variable con la que se está trabajando lo que dificultaría demasiado cualquier modificación.

De igual forma que para las variables del PLC, se hace referencia a los térmicos de los actuadores y al selector auto/manual y la seta de emergencia de la instalación.

5.6.3.1.2. DB1 Variables HMI

VAR_HMI				
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...
	Static			<input type="checkbox"/>
	REARME	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_Princ	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_Acequia	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_Agitador	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_PH+	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_PH-	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_CE+	Bool	false	<input type="checkbox"/>
	Puls_Bomb_CE-	Bool	false	<input type="checkbox"/>
0	Puls_Vent_1	Bool	false	<input type="checkbox"/>
1	Puls_Vent_2	Bool	false	<input type="checkbox"/>
2	Puls_Vent_3	Bool	false	<input type="checkbox"/>
3	Puls_Vent_4	Bool	false	<input type="checkbox"/>
4	Puls_Vent_5	Bool	false	<input type="checkbox"/>
5	Puls_Vent_6	Bool	false	<input type="checkbox"/>
6	Puls_Cal_1	Bool	false	<input type="checkbox"/>
7	Puls_Cal_2	Bool	false	<input type="checkbox"/>

Fig. 85 Variables HMI

Como se puede observar por el nombre, estas serán las variables con las que se podrá controlar la instalación desde la pantalla HMI.

Dentro de este grupo se encuentran los pulsadores de activación de todas las bombas y actuadores para el control de temperatura.

5.6.3.1.3. DB2 Sensores

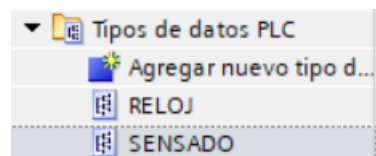
SENSORES					
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	A
	Static			<input type="checkbox"/>	
	T_SENSOR	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	PH_SENSOR	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	CE_SENSOR	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	LVL_SENSOR_PRINC	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	LVL_SENSOR_PH+	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	LVL_SENSOR_PH-	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	LVL_SENSOR_CE+	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	
	LVL_SENSOR_CE-	*SENSADO*		<input type="checkbox"/>	

Fig. 86 Variables Sensores

Son las variables referentes a los sensores de la instalación.

Dentro de este grupo se encuentran el sensor de temperatura, PH, CE, nivel de PH/CE y tanque principal.

Cabe destacar el tipo de dato utilizado en esta ocasión, ya que es un tipo de dato o comúnmente conocido como UDT del tipo SENSADO. Gracias a esta UDT SENSADO, se logra organizar y reducir el código necesario del programa, ya que en este tipo de dato, se encuentran todas las variables necesarias que requieren todos y cada uno de los sensores de la instalación.



SENSADO					
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Ac	
	Permiso_Motor_ALTO	Bool	false		
	Permiso_Motor_BAJO	Bool	false		
	Csg paro	Real	0.0		
	Hist Marcha	Real	0.0		
	Value_Scale	Real	0.0		
	Sonda	Struct			
	Sens_MAX_Range	Real	0.0		
	Sens_MIN_Range	Real	0.0		
	Value_NO_Scale	Int	0		

Fig. 87 UDT Sensado

METODO OPERATIVO

Dentro de detallar el criterio de cada una de las variables:

- Permiso motor ALTO/BAJO: Estas variables, serán las responsables de la activación del actuador siempre y cuando, la lectura del sensor se igual o mayor o menor que los valores de consigna e histéresis establecidos.
- Csg de paro: Permite establecer el valor a partir del cual, la lectura del sensor, provoca la detección del actuador en cuestión.
- Hist Marcha: Permite establecer el valor a partir del cual, la lectura del sensor, provoca el arranque del actuador en cuestión.
- Value scale: Es el valor del sensor ya escalado a las unidades en las que se decida trabajar (°C, us/cm2, etc.)
- Sens MAX RANGE: Rango de medida máximo que es capaz de medir el sensor
- Sens MIN RANGE: Rango de medida mínimo que es capaz de medir el sensor
- Value NO scale: Es el valor de lectura del sensor. Su valor está comprendido entre 0 y 27648

5.6.3.1.4. DB3 Control de reloj y horas de riego

RTC		
	Nombre	Tipo de datos
	Static	
	RTC	"RELOJ"
	Permiso_hora_marcha	Bool
	Permiso_tempo_marcha	Bool
	REGADIOS	Array[0..2] of Struct
	REGADIOS[0]	Struct
	hora_inicio	Time_Of_Day
	hora_final	Time_Of_Day
	REGADIOS[1]	Struct
	hora_inicio	Time_Of_Day
	hora_final	Time_Of_Day
	REGADIOS[2]	Struct
	hora_inicio	Time_Of_Day
	hora_final	Time_Of_Day
	Hora_local	Time_Of_Day

Fig. 88 Variables RTC

Dentro de este grupo de variables se encuentran las referentes al control del reloj y los horarios de riego del cultivo. Al igual que en el caso anterior, se ha utilizado la UDT Reloj en la que se encuentran todas las variables referentes al control de tiempo.

RELOJ				
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Ac
	Permiso_hora_marcha	Bool	false	
	Permiso_tempo_marcha	Bool	false	
	REGADIOS	Array[0..2] of Struct		
	REGADIOS[0]	Struct		
	hora_inicio	Time_Of_Day	TOD#06:00:00	
	hora_final	Time_Of_Day	TOD#07:00:00	
	REGADIOS[1]	Struct		
	hora_inicio	Time_Of_Day	TOD#08:00:00	
	hora_final	Time_Of_Day	TOD#09:00:00	
0	REGADIOS[2]	Struct		
1	hora_inicio	Time_Of_Day	TOD#10:00:00	
2	hora_final	Time_Of_Day	TOD#11:00:00	
3	Hora_local	Time_Of_Day	TOD#00:00:00	

Fig. 89 UDT RTC

METODO OPERATIVO

5.6.3.2. FB100 FB MOTOR

El principal objetivo de la FB MOTOR reside en hacer que todos los actuadores de la instalación adquieran el comportamiento y funcionamiento de esta función aunque con pequeñas modificaciones. De esta forma se consigue reducir código y ahorra tiempo durante la etapa de programación utilizando solamente una función para los 15 actuadores de la instalación.

MOTOR									
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor predet.	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de	
	▼ Input								
	■ eAuto	Bool	0.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ Seta_emergencia	Bool	0.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ Termico	Bool	0.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ REARME	Bool	0.3	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ PermisoFuncionMarcha	Bool	0.4	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ PermisoFuncionParo	Bool	0.5	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ Output								
	■ sMarcha	Bool	2.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ InOut								
	■ <Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ Static								
	■ OK_ALARMAS	Bool	4.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ ALARMAS	Array[1..2] of Bool	6.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ ALARMAS[1]	Bool	6.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ ALARMAS[2]	Bool	6.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ HMI	Struct	8.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ PULSADOR MANUAL	Bool	8.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ EN_MARCHA	Bool	8.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ ESTADOS	Int	10.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	■ ALARMAS	Int	12.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ Temp								
	■ <Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	▼ Constant								
	■ <Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

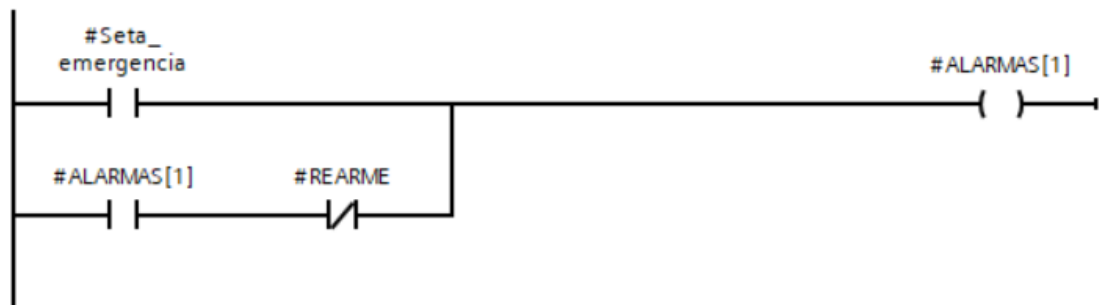
Dentro de este grupo se encuentran todas las variables que permiten definir las propiedades con las que cuenta un actuador. Dentro del apartado de entradas se encuentran las referentes al selector de modo auto/manual, seta de emergencia y permisos de marcha/paros provenientes de otras funciones del programa.

Cabe destacar dentro del apartado Static la variable OK_ALARMAS la cual indica la NO existencia de ningún tipo de alarma, indicando que el motor se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento.

SEGMENTO 1,2 Y 3

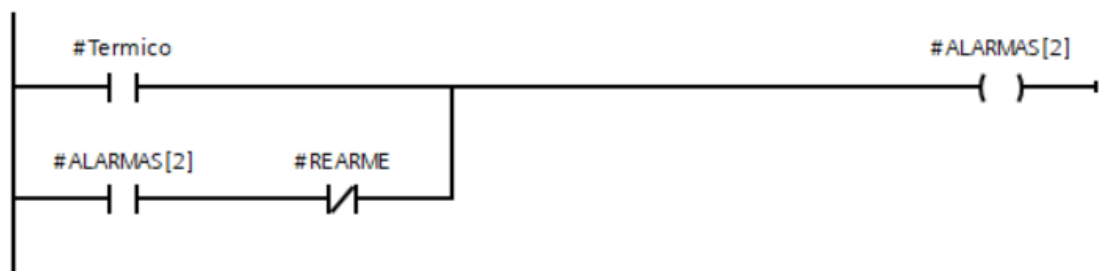
▼ Segmento 1: Paro por Seta de emergencia

Comentario



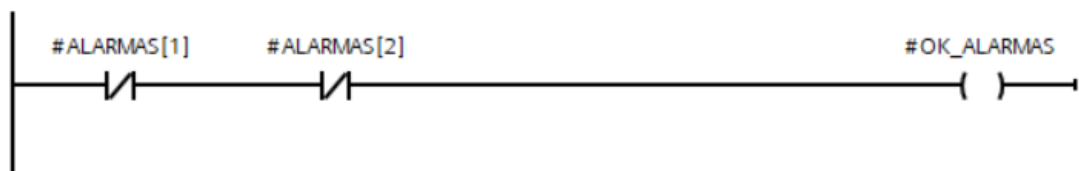
▼ Segmento 2: Paro por termico

Comentario



▼ Segmento 3: Alamas OK

Comentario

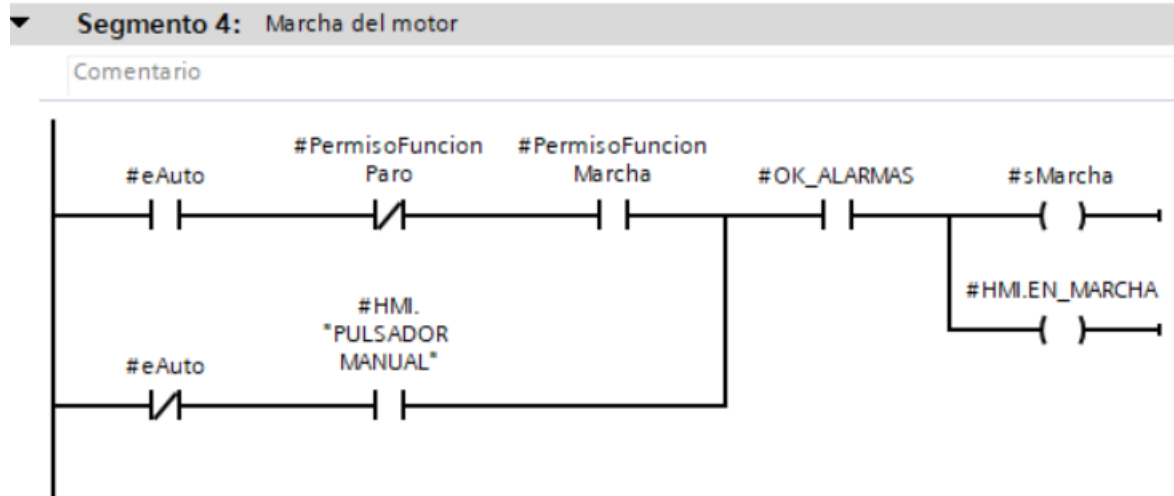


Teniendo en cuenta lo anteriormente comentado, se puede ver que en el momento en el que se produce la activación del térmico (segmento 2) o de la seta de emergencia (segmento 1) se produce la activación de las alarmas del motor.

Esto provoca que la variable OK_ALARMAS se ponga a 0 indicando la existencia de algún tipo de fallo en el sistema. Independientemente del modo de funcionamiento ya sea automático o manual y a pesar de rearmar tanto el térmico como la seta de emergencia, hasta que no se pulse el botón de rearme del HMI no se producirá el rearme completo del motor.

METODO OPERATIVO

SEGMENTO 4



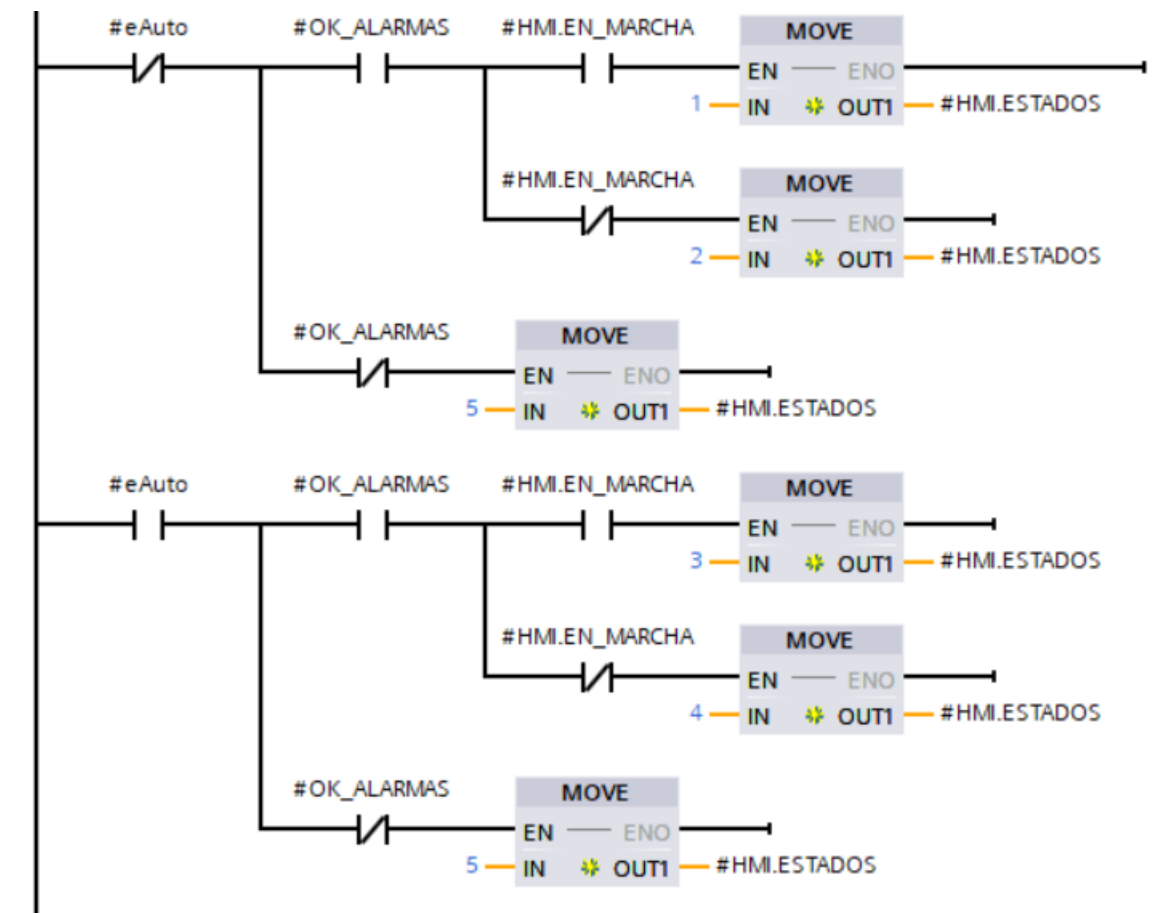
El segmento 4 muestra la puesta en marcha del motor. Como se puede observar, para el **modo manual** (eauto=0) hasta que no se pulsa el pulsador o botón disponible en el HMI no se producirá la marcha del mismo.

En el caso contrario, en **modo automático** (eauto=1), la marcha del motor no se producirá hasta que una de las funciones del programa (control de temperatura, PH, etc) de permiso de activación para su puesta en marcha.

Cabe destacar la variable PermisoFuncionParo ya que esta variable tiene una mayor cabida para los actuadores de Bomba PH+, Bomba PH-, Bomba CE+, Bomba CE-, Bomba tanque principal, ya que en función del nivel de cada uno de sus respectivos tanques, se producirá el paro de la bomba hasta que el nivel del depósito de la bomba asociada no alcance un determinado nivel.

En cualquier caso, independientemente del modo de funcionamiento en el que se encuentre el motor, si se produjera la existencia de cualquier tipo de alarma, se produciría el paro inmediato del motor.

SEGMENTO 5



En este segmento se registran los estados en los que se encuentra el motor en todo momento para poder posteriormente ser visualizado en la pantalla HMI.

En este caso para el **modo manual**:

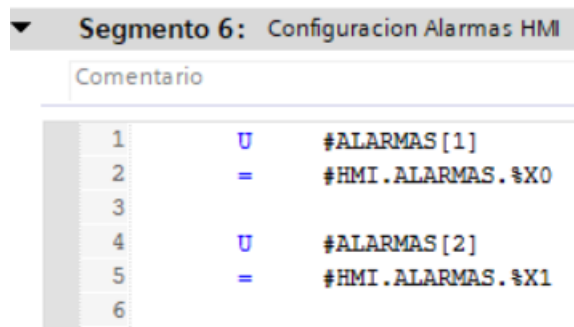
- Si el motor se encuentra en marcha → Funcionando en manual
- Si el motor se encuentra parado → Paro en manual
- Si se produce alguna alarma → Paro por alarma

Para el **modo automático**:

- Si el motor se encuentra en marcha → Funcionando en automático
- Si el motor se encuentra parado → Paro en automático
- Si se produce alguna alarma → Paro por alarma

METODO OPERATIVO

SEGMENTO 6



Dentro de este último segmento de la FB motor se realiza la asignación de las alarmas del motor, concretamente a los bits del valor entero de la variable HMI ALARMAS del motor permitiendo así visualizar la existencia de una alarma en la pantalla HMI

5.6.3.3. FUNCIONES

5.6.3.3.1. FC1 Función Analógica

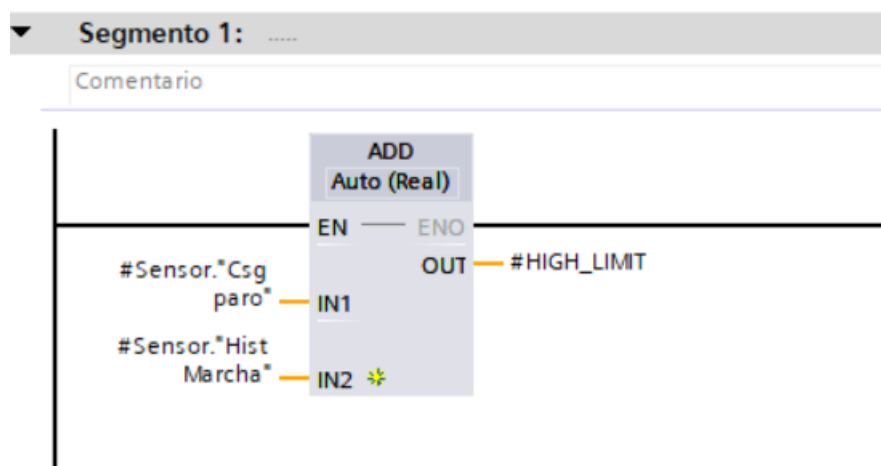
El principal objetivo de esta función es el de realizar el escalado de los valores de lectura cada uno de los sensores, independientemente del fin al que estén destinados (temperatura, PH, CE, etc) permitiendo así reducir la utilización de código.

FC_CONTROL_ANALOGIA			
	Nombre	Tipo de datos	V
	▼ Input		
	■ <Agregar>		
	▼ Output		
	■ <Agregar>		
	▼ InOut		
	■ ▶ Sensor	"SENSADO"	
	▼ Temp		
	■ HIGH_LIMIT	Real	
	■ LOW_LIMIT	Real	
	■ SENS_VALUE	Real	
	■ RET_VAL_1	Word	
	▼ Constant		
	■ <Agregar>		
	▼ Return		
	■ FC_CONTROL_ANALOGIA	Void	

Dentro de las variables con las que cuenta la función, cabe resaltar la utilización de una variable *inout* del tipo SENSADO. El motivo por el que se creado en *inout* es debido a que la UDT SENSADO necesitaba proporcionar un permiso de activación a través de la variable *PermisoMotorAlto/Bajo* al mismo tiempo que realiza la lectura del valor del sensor.

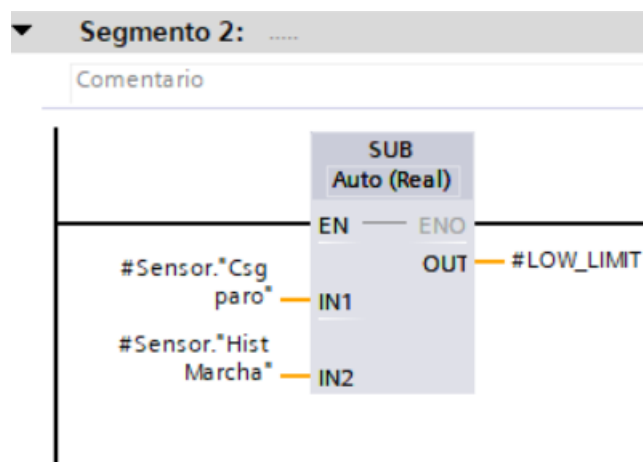
Del mismo modo la función cuenta con variables temporales ya que no se requiere que su valor se almacene en la memoria del PLC.

SEGMENTO 1



En este segmento, se establece el límite superior como consecuencia de la suma del valor de consigna e histéresis, a partir del cual se produce la activación de un actuador determinado.

SEGMENTO 2



METODO OPERATIVO

En este segmento, se establece el límite inferior como consecuencia de la resta del valor de consigna e histéresis, a partir del cual se produce la activación de un actuador determinado.

SEGMENTO 3

```
▼ Segmento 3: .....  
Comentario  
-----  
1      CALL SCALE  
2      IN      :=#Sensor.Sonda.Value_NO_Scale  
3      HI_LIM  :=#Sensor.Sonda.Sens_MAX_Range  
4      LO_LIM  :=#Sensor.Sonda.Sens_MIN_Range  
5      BIPOLAR :=FALSE  
6      RET_VAL :=#RET_VAL_1  
7      OUT      :=#SENS_VALUE  
8  
9
```

En este segmento se hace uso de la función SCALE la cual permite escalar los valores de lectura del sensor (valores entre 0 y 27648) a valores de la variable que se pretende medir (0-20°C, 0.8-1us/cm², etc.)

Para ello se introduce como valores de entrada el valor no escalado del sensor a través de la variable *Value NO Scale*

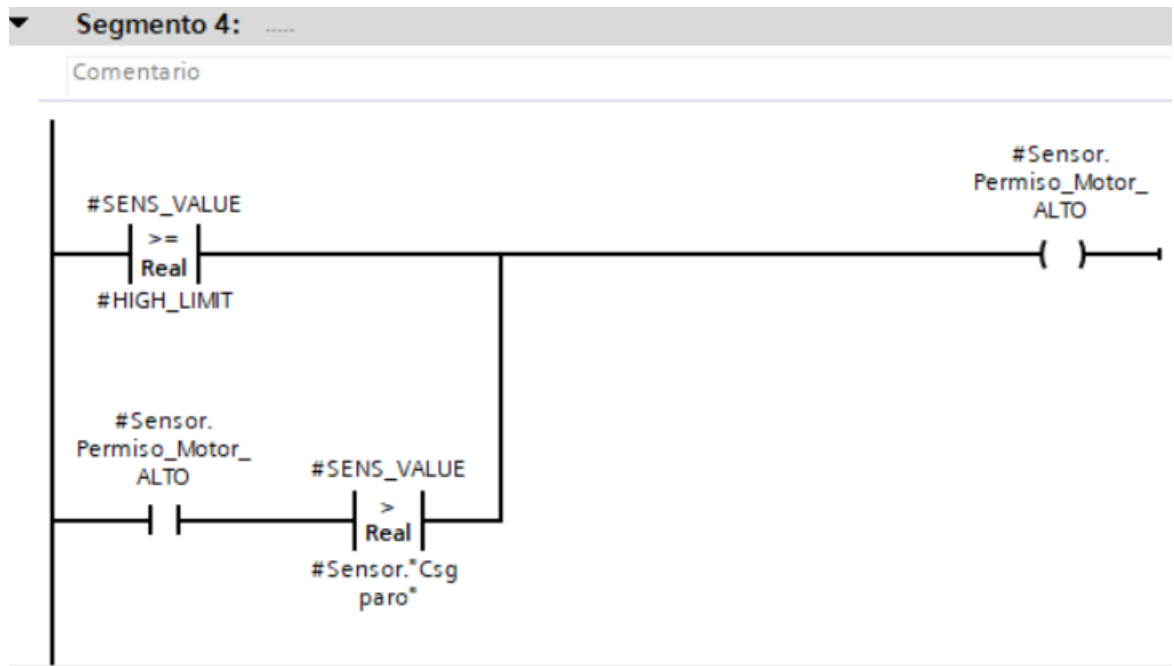
Se establecen como límites de escala los rangos máximos y mínimos que es capaz de medir el sensor, en este caso a través de las variables *Sensor_MAX_Range* y *Sensor_MIN_Range*

Dentro del parámetro bipolar se ha elegido el estado lógico FALSE debido a que los valores de lectura del sensor son unipolares, es decir se encuentran comprendidos entre 0 y 27648.

En caso contrario, si el estado lógico del parámetro Bipolar es TRUE, los valores de lectura del sensor oscilarían entre -27648 y +27648

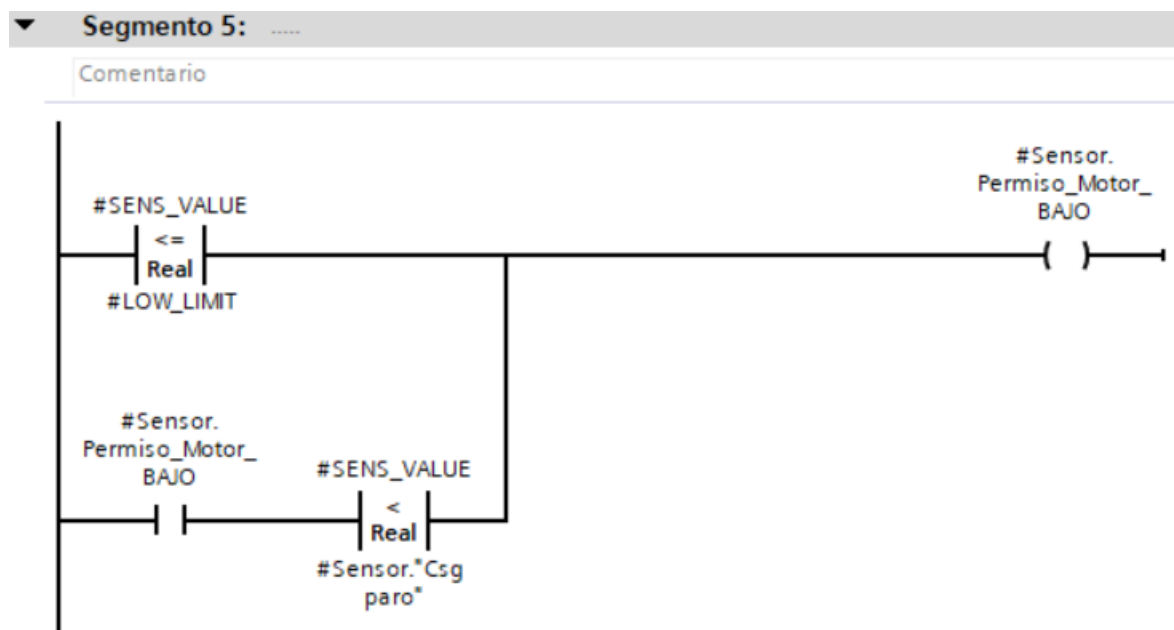
Por último en la salida se introduce la variable temporal *SENS_VALUE* la cual será asignada a la variable *Value_Scale* del sensor.

SEGMENTO 4



En este segmento se realiza la comparación de los valores de lectura del sensor. En este caso si el valor del sensor es igual o mayor que el límite superior establecido, se activa la variable *Permiso_Motor_ALTO* permitiendo poner en marcha a determinados actuadores

SEGMENTO 5



METODO OPERATIVO

El mismo criterio se aplica en este segmento, pero en este caso comparando con el límite inferior.

SEGMENTO 6

Segmento 6:		
Comentario		
1	L	#SENS_VALUE
2	T	#Sensor.Value_Scale

Por último, como se ha comentado con anterioridad se realiza la asignación del valor escalado a la variable del sensor de la que necesitamos almacenar el valor

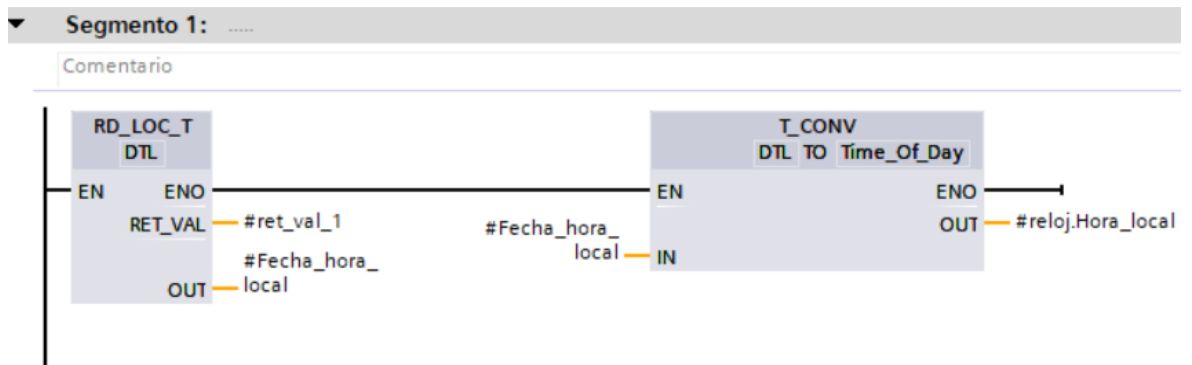
5.6.3.3.2. FC6 Función Control horario

Esta función tiene como principal objetivo habilitar el permiso de marcha del **agitador, bomba principal y bomba acequia** en función de la hora de riego.

FC_CTRL_TIEMPO		
	Nombre	Tipo de datos
	Input	
	<Agregar>	
	Output	
	<Agregar>	
	InOut	
	▶ reloj	"RELOJ"
	Temp	
	ret_val_1	Word
	t_diff_1	Time
0	t_diff_2	Time
1	t_diff_3	Time
2	hora_local	Time_Of_Day
3	▶ Fecha_hora_local	DTL
4	Constant	
5	<Agregar>	
6	Return	
7	FC_CTRL_TIEMPO	Void

Al igual que en el caso de la *Función Analógica*, se utiliza una variable *inout* reloj del tipo UDT RELOJ debido a que es necesario proporcionar permisos de marcha y paro de los actuadores al mismo tiempo que se produce la lectura de la hora local del PLC. De igual forma se hace uso de las variables temporales mostradas ya que no es necesario almacenar su valor en memoria.

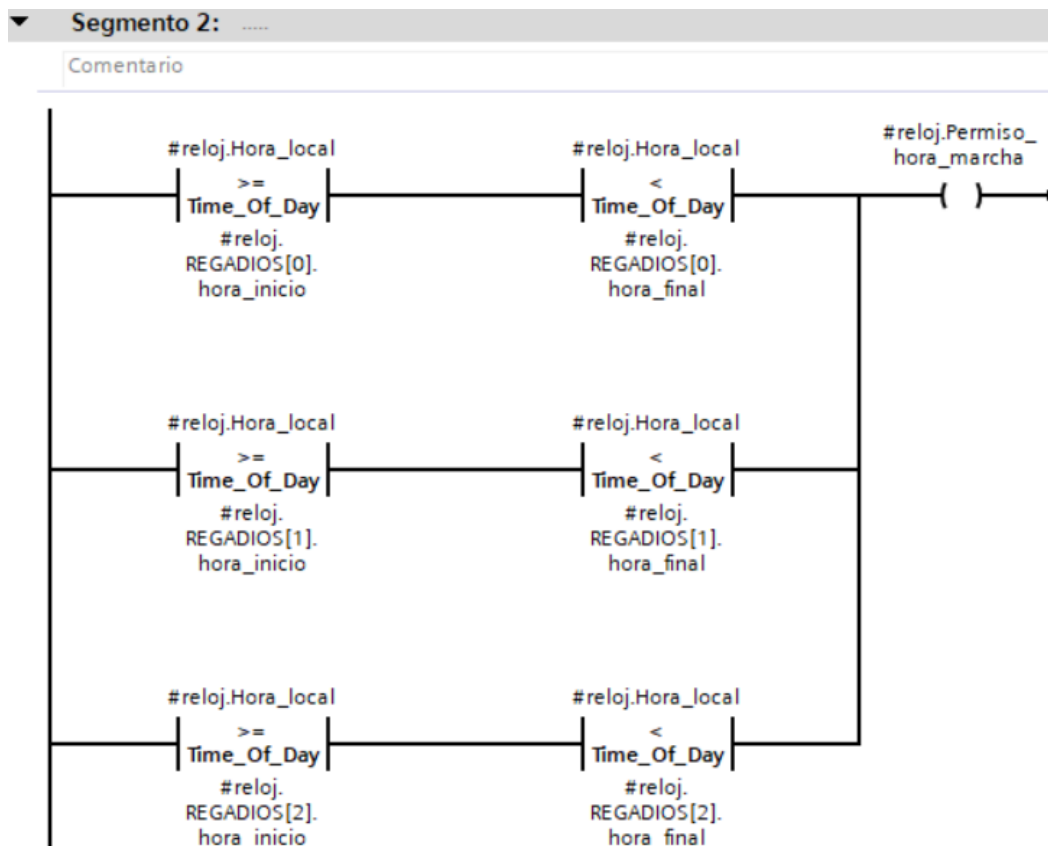
SEGMENTO 1



En este segmento se hace uso de la función de reloj RD_LOC_T con la que cuenta el sistema. Esta función permite leer la hora local del PLC. Para almacenar su valor, se hace uso de la variable *Fecha_hora_local* del tipo DTL (Date Time Long).

Para extraer de esta variable, solo el valor de la hora, se hace uso de la instrucción T_CONV permitiendo de este modo transferir el valor de la hora de la variable *Fecha_hora_local* de tipo DTL a la variable *Hora_local* de tipo Time of day

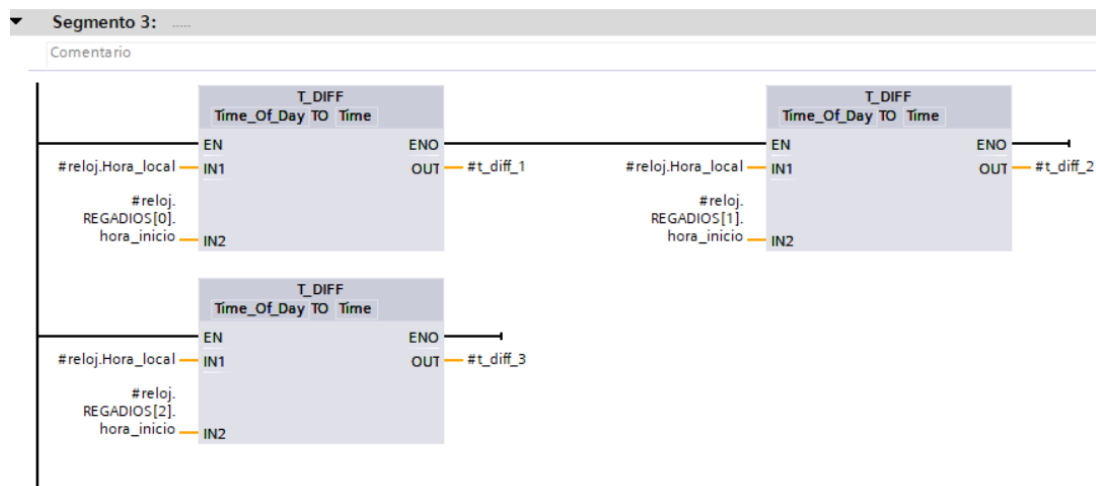
SEGMENTO 2



METODO OPERATIVO

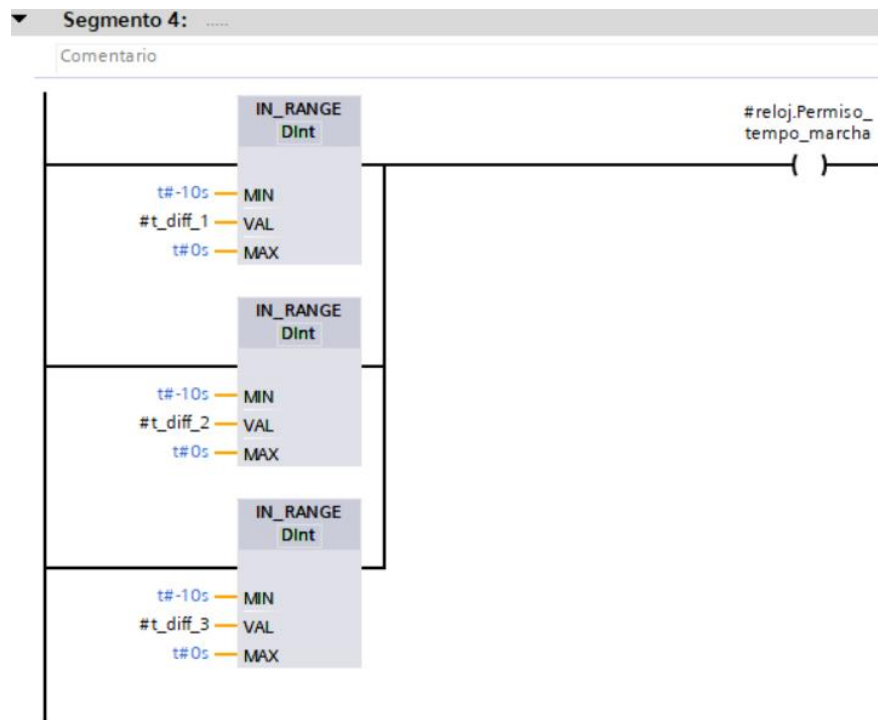
En este segmento se realiza la comparación de tiempo de cada una de los riegos. Si la hora local se encuentra entre la hora_inicio y la hora_final del riego se produce la habilitación de la marcha de la bomba principal

SEGMENTO 3



En este segmento se realiza una diferencia de tiempos entre la hora local y la hora de inicio de cada uno de los riegos. El motivo es debido a que pretende iniciar la marcha del agitador 10 min antes de la puesta en marcha de la bomba principal para realizar la homogeneización de la solución.

SEGMENTO 4



Como se puede observar aquí, el valor resultante de la diferencia de tiempos entre la hora local y la hora inicio de cada uno de los riegos, almacenado en la variable t_diff_1 , t_diff_2 , t_diff_3 se compara entre 0 y -10 ya que la diferencia hasta que se alcanza la hora de activación de la bomba, es de un valor negativo.

En este caso se ha supuesto un valor de -10s a modo de simulación para no tener que esperar tanto tiempo hasta que la bomba principal se active.

5.6.4. *Funcionamiento del programa*

El funcionamiento del programa se basa principalmente en el modo de funcionamiento, ya sea manual o automático. A su vez el programa se divide en dos grandes vertientes principales como son el control de temperatura y el control del riego, ambas dos con independencia una de la otra.

En **modo manual**, es posible realizar el control de cualquiera de los actuadores de la instalación con independencia de los valores de los sensores

Por el contrario en **modo automático**:

- Control de temperatura

Si la temperatura es **superior a 30°C** se produce la activación de los **ventiladores** hasta que la temperatura no alcance el valor de consigna de paro establecido.

Por el contrario, si la temperatura es **inferior a 10°C**, se produciría la activación de los **calefactores** hasta que la temperatura alcanzara el valor de la consigna de paro

- Control de riego

TANQUE PRINCIPAL

Si la **hora local** del PLC es igual a la **hora de riego**, se produce la activación de la bomba principal. Si el tanque de la bomba principal esta **vacío**, se produce la activación de la **bomba acequia** hasta alcanzar el valor de consigna dado.

TANQUES REGULADORES

Independientemente del funcionamiento del tanque principal, si el PH o la CE está por **encima** del **límite superior** establecido, se produce la activación de las **bombas de PH- o CE-** respectivamente. Si el PH o la CE está por **debajo** del **límite inferior** establecido, se produce la activación de las **bombas de PH+ o CE+**

Al mismo tiempo si el nivel de cualquiera de los tanques se encuentra por **debajo** del **límite inferior** establecido, se producirá la parada de la bomba hasta que el nivel del tanque no alcance el nivel de consigna

5.6.4.1. OB1

Segmento 1: ++++++ASIGNACION DE ENTRADAS+++++		
Comentario		
1	CALL "E_FISICAS_TO_DIGITAL"	FC2
Segmento 2: ++++++CONTROL DE TEMPERATURA+++++		
Comentario		
1	CALL "CTRL_T"	FC4
Segmento 3: ++++++CONTROL DE RIEGO+++++		
Comentario		
1	CALL "CTRL_RIEGO"	FC5
Segmento 4: ++++++ASIGNACION DE ENTRADAS+++++		
Comentario		
1	CALL "S_DIGITAL_TO_FISICAS"	FC3

El programa principal se encuentra dividido en 4 funciones principales en las que se agrupa todo el código del programa:

- FC2 E_FISICAS_TO_DIGITAL
- FC3 S_DIGITAL_TO FISICAS
- FC4 CTRL_T^a
- FC5 CTRL_RIEGO

METODO OPERATIVO

5.6.4.2. FC2 E_FISICAS_TO_DIGITAL SEGMENTO 1

```
▼ Segmento 1: ENTRADAS FISICAS A DB ENTRADAS
Comentario
1 // ENTRADAS CONTROL DE TEMPERATURA
2 U "Termico_Cal_1"
3 = "ED".eTermico_Cal_1
4
5 U "Termico_Cal_2"
6 = "ED".eTermico_Cal_2
7
8 U "Termico_Vent_1"
9 = "ED".eTermico_Vent_1
10
11 U "Termico_Vent_2"
12 = "ED".eTermico_Vent_2
13
14 U "Termico_Vent_3"
15 = "ED".eTermico_Vent_3
16
17 U "Termico_Vent_4"
18 = "ED".eTermico_Vent_4
19
20 U "Termico_Vent_5"
21 = "ED".eTermico_Vent_5
22
23 U "Termico_Vent_6"
24 = "ED".eTermico_Vent_6
25
```

```
27 //ENTRADAS CONTROL DE RIEGO
28 U "SetaEmergencia"
29 = "ED"."SETA EMERGENCIA"
30
31 U "Termico_Bomb_Principal"
32 = "ED".eTermico_Bomb_Princ
33
34 U "Termico_Agitador"
35 = "ED".eTermico_Bomb_Agitador
36
37 U "Termico_Bomb_Acequia"
38 = "ED".eTermico_Bomb_Acequia
39
40 U "Termico_Bomb_PH+"
41 = "ED"."eTermico_Bomb_PH+"
42
43 U "Termico_Bomb_PH-"
44 = "ED"."eTermico_Bomb_PH-"
45
46 U "Termico_Bomb_CE+"
47 = "ED"."eTermico_Bomb_CE+"
48
49 U "Termico_Bomb_CE-"
50 = "ED"."eTermico_Bomb_CE-"
51
```

En este segmento se realiza la asignación de las variables físicas de las entradas del PLC a las entradas digitales pertenecientes al DB4, tal y como hemos comentado con anterioridad.

SEGMENTO 2

```

▼ Segmento 2: ++++++VARIABLES HMI TEMPERATURA+++++
Comentario
1 //HMI VENTILADORES
2 U "VAR_HMI".Puls_Vent_1
3 = "VENT_1".HMI."PULSADOR MANUAL"
4
5 U "VAR_HMI".Puls_Vent_2
6 = "VENT_2".HMI."PULSADOR MANUAL"
7
8 U "VAR_HMI".Puls_Vent_3
9 = "VENT_3".HMI."PULSADOR MANUAL"
10
11 U "VAR_HMI".Puls_Vent_4
12 = "VENT_4".HMI."PULSADOR MANUAL"
13
14 U "VAR_HMI".Puls_Vent_5
15 = "VENT_5".HMI."PULSADOR MANUAL"
16
17 U "VAR_HMI".Puls_Vent_6
18 = "VENT_6".HMI."PULSADOR MANUAL"
19
20 //HMI CALEFACTORES
21 U "VAR_HMI".Puls_Cal_1
22 = "CAL_1".HMI."PULSADOR MANUAL"
23
24 U "VAR_HMI".Puls_Cal_2
25 = "CAL_2".HMI."PULSADOR MANUAL"
26
27

```

En este segmento se realiza la asignación de los pulsadores HMI de cada uno de los ventiladores y calefactores a controlar.

METODO OPERATIVO

SEGMENTO 3

```
▼ Segmento 3: ++++++VARIABLES HMI RIEGO+++++
Comentario
1 // BOMBAS PRINCIPALES
2
3 U "VAR_HMI".Puls_Bomb_Acequia
4 = "BOMBA_ACEQUIA".HMI."PULSADOR MANUAL"
5
6 U "VAR_HMI".Puls_Bomb_Agitador
7 = "AGITADOR".HMI."PULSADOR MANUAL"
8
9 U "VAR_HMI".Puls_Bomb_Princ
10 = "BOMBA_PRINCIPAL".HMI."PULSADOR MANUAL"
11
12
13 //BOMBAS CONTROL SOLUCION
14 U "VAR_HMI"."Puls_Bomb_PH+"
15 = "BOMBA_PH+".HMI."PULSADOR MANUAL"
16
17 U "VAR_HMI"."Puls_Bomb_PH-"
18 = "BOMBA_PH-".HMI."PULSADOR MANUAL"
19
20 U "VAR_HMI"."Puls_Bomb_CE+"
21 = "BOMBA_CE+".HMI."PULSADOR MANUAL"
22
23 U "VAR_HMI"."Puls_Bomb_CE-"
24 = "BOMBA_CE-".HMI."PULSADOR MANUAL"
25
```

Del mismo modo se realiza para el resto de bombas de la instalación

5.6.4.3. FC4 CTRL_Tª

Esta función permite englobar todos los elementos necesarios con los que realizar el control de temperatura de la instalación.

SEGMENTO 1

```
▼ Segmento 1: ++++++FUNCION DE CONTROL DE TEMPERATURA+++++
Comentario
1 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" §FC1
2 Sensor := "SENSORES"."T°_SENSOR"
```

En este segmento se realiza la llamada a la función analógica FC6 comentada anteriormente con la que realizara el control de temperatura de la instalación

SEGMENTO 2

Segmento 2: ****Ventiladores****	
Comentario	
1	//VENTILADOR 1
2	CALL "MOTOR", "VENT_1" §FB100,...
3	eAuto := "ED".SEL_AUTO §DB4.DB...
4	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" §DB4.DB...
5	Termico := "ED".eTermico_Vent_1 §DB4.DB...
6	REARME := "VAR_HMI".REARME
7	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO
8	PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
9	sMarcha := "VENT_1".sMarcha §DB101...
10	
11	//VENTILADOR 2
12	CALL "MOTOR", "VENT_2" §FB100,...
13	eAuto := "ED".SEL_AUTO §DB4.DB...
14	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" §DB4.DB...
15	Termico := "ED".eTermico_Vent_2 §DB4.DB...
16	REARME := "VAR_HMI".REARME
17	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO
18	PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
19	sMarcha := "VENT_2".sMarcha §DB102...
20	
21	//VENTILADOR 3
22	CALL "MOTOR", "VENT_3" §FB100,...
23	eAuto := "ED".SEL_AUTO §DB4.DB...
24	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" §DB4.DB...
25	Termico := "ED".eTermico_Vent_3 §DB4.DB...
26	REARME := "VAR_HMI".REARME
27	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO
28	PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
29	sMarcha := "VENT_3".sMarcha §DB103...
30	
31	//VENTILADOR 4
32	CALL "MOTOR", "VENT_4" §FB100,...
33	eAuto := "ED".SEL_AUTO §DB4.DB...
34	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" §DB4.DB...
35	Termico := "ED".eTermico_Vent_4 §DB4.DB...
36	REARME := "VAR_HMI".REARME
37	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO
38	PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
39	sMarcha := "VENT_4".sMarcha §DB104...
40	

METODO OPERATIVO

41	//VENTILADOR 5	
42	CALL "MOTOR", "VENT_5"	%FB100,...
43	eAuto := "ED".SEL_AUTO	%DB4.DB...
44	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"	%DB4.DB...
45	Termico := "ED".eTermico_Vent_5	%DB4.DB...
46	REARME := "VAR_HMI".REARME	
47	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO	
48	PermisoFuncionParo := FALSE	FALSE
49	sMarcha := "VENT_5".sMarcha	%DB105...
50		
51	//VENTILADOR 6	
52	CALL "MOTOR", "VENT_6"	%FB100,...
53	eAuto := "ED".SEL_AUTO	%DB4.DB...
54	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"	%DB4.DB...
55	Termico := "ED".eTermico_Vent_6	%DB4.DB...
56	REARME := "VAR_HMI".REARME	
57	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_ALTO	
58	PermisoFuncionParo := FALSE	FALSE
59	sMarcha := "VENT_6".sMarcha	%DB106...
60		

En este segmento se encuentran los ventiladores de la instalación, los cuales se activarán dependiendo del modo y en función del valor del sensor de temperatura. Como se puede observar, se ha hecho uso del bloque de función FB100 FB motor para cada uno de los ventiladores.

De esta forma, si el valor de la temperatura se encuentra por encima del valor límite superior establecido por el usuario, la función FC6 envía un permiso de habilitación de marcha permitiendo realizar la marcha de los ventiladores.

SEGMENTO 3

Segmento 3: ****Calefactores****		
Comentario		
1	//CALEFACTOR 1	
2	CALL "MOTOR", "CAL_1"	%FB100,...
3	eAuto := "ED".SEL_AUTO	%DB4.DB...
4	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"	%DB4.DB...
5	Termico := "ED".eTermico_Cal_1	%DB4.DB...
6	REARME := "VAR_HMI".REARME	
7	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_BAJO	
8	PermisoFuncionParo := FALSE	FALSE
9	sMarcha := "CAL_1".sMarcha	%DB111...
10		
11	//CALEFACTOR 2	
12	CALL "MOTOR", "CAL_2"	%FB100,...
13	eAuto := "ED".SEL_AUTO	%DB4.DB...
14	Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"	%DB4.DB...
15	Termico := "ED".eTermico_Cal_2	%DB4.DB...
16	REARME := "VAR_HMI".REARME	
17	PermisoFuncionMarcha := "SENSORES"."T°_SENSOR".Permiso_Motor_BAJO	
18	PermisoFuncionParo := FALSE	FALSE
19	sMarcha := "CAL_2".sMarcha	%DB112...
20		
21		
22		

Este segmento es similar al anterior, pero en este caso la activación de los calefactores se lleva a cabo cuando el valor del sensor se encuentra por debajo del valor límite inferior establecido por el usuario.

5.6.4.4. FC5 CTRL_RIEGO

SEGMENTO 1

Segmento 1: ++++++FC Control Horario++++++		
Comentario		
1	CALL "FC_CTRL_TIEMPO"	§FC6
2	reloj := "RTC".RTC	

En este segmento se realiza la llamada a la función FC6 Función de control de riego. Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de esta función es la de permitir la activación de las bombas de la instalación y el agitador en función de la hora local del PLC.

SEGMENTO 2

Segmento 2: ++++++FC Control Solucion++++++		
Comentario		
1	CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA"	§FC1
2	Sensor := "SENSORES".PH_SENSOR	
3		
4	CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA"	§FC1
5	Sensor := "SENSORES".CE_SENSOR	
6		

En este segmento se realiza la llamada a la función FC1 Función control analogía para cada uno de los sensores de PH y CE con los que realizar el control de la solución.

METODO OPERATIVO

SEGMENTO 3

```

Segmento 3: +++++++FC Control Nivel+++++++
Comentario
1 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" %FC1
2 Sensor := "SENSORES".LVL_SENSOR_PRINC
3
4 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" %FC1
5 Sensor := "SENSORES"."LVL_SENSOR_PH+"
6
7 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" %FC1
8 Sensor := "SENSORES"."LVL_SENSOR_PH-"
9
10 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" %FC1
11 Sensor := "SENSORES"."LVL_SENSOR_CE+"
12
13 CALL "FC_CONTROL_ANALOGIA" %FC1
14 Sensor := "SENSORES"."LVL_SENSOR_CE-"
    
```

Este segmento es similar al anterior, pero en este caso utilizando los sensores de nivel de los tanques reguladores de la instalación

SEGMENTO 4

```

Segmento 4: ****Bomba Principal_Agitador_Bomba Acequia****
Comentario
1 //BOMBA PRINCIPAL
2 CALL "MOTOR", "BOMBA_PRINCIPAL" %FB100,...
3 eAuto := "ED".SEL_AUTO %DB4.DB...
4 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" %DB4.DB...
5 Termico := "ED".eTermico_Bomb_Princ %DB4.DB...
6 REARME := "VAR_HMI".REARME
7 PermisoFuncionMarcha := "RTC".RTC.Permiso_hora_marcha
8 PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
9 sMarcha := "BOMBA_PRINCIPAL".sMarcha %DB201...
10
11 //AGITADOR
12 CALL "MOTOR", "AGITADOR" %FB100,...
13 eAuto := "ED".SEL_AUTO %DB4.DB...
14 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" %DB4.DB...
15 Termico := "ED".eTermico_Bomb_Agitador %DB4.DB...
16 REARME := "VAR_HMI".REARME
17 PermisoFuncionMarcha := "RTC".RTC.Permiso_tempo_marcha
18 PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
19 sMarcha := "AGITADOR".sMarcha %DB202...
20
21 //BOMBA ACEQUIA
22 CALL "MOTOR", "BOMBA_ACEQUIA" %FB100,...
23 eAuto := "ED".SEL_AUTO %DB4.DB...
24 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA" %DB4.DB...
25 Termico := "ED".eTermico_Bomb_Acequia %DB4.DB...
26 REARME := "VAR_HMI".REARME
27 PermisoFuncionMarcha := "SENSORES".LVL_SENSOR_PRINC.Permiso_Motor_BAJO
28 PermisoFuncionParo := FALSE FALSE
29 sMarcha := "BOMBA_ACEQUIA".sMarcha %DB200...
30
    
```

Este segmento es similar a los segmentos 2 y 3 de control de temperatura, pero en esta ocasión se realiza para el caso de la bomba principal y de acequia y para el agitador. Tal y como se comentó con anterioridad, antes de que la hora local se igual que la hora de riego se activa el agitador durante 10 minutos con objeto de homogeneizar la mezcla de la solución.

Cuando la hora local del PLC coincide con la hora de inicio de riego, se produce la activación de la bomba principal. En caso de que el nivel del tanque de la solución principal sea inferior al 10%, se produce la activación de la bomba hasta que no alcanza la consigna de paro establecida por el usuario

SEGMENTO 5

```

▼ Segmento 5: ****Bombas control solucion****
Comentario
1 //BOMBA PH+
2 CALL "MOTOR", "BOMBA_PH+"
3 eAuto := "ED".SEL_AUTO
4 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"
5 Termico := "ED"."eTermico_Bomb_PH+"
6 REARME := "VAR_HMI".REARME
7 PermisoFuncionMarcha := "SENSORES".PH_SENSOR.Permiso_Motor_BAJO
8 PermisoFuncionParo := "SENSORES"."LVL_SENSOR_PH+".Permiso_Motor_BAJO
9 sMarcha := "BOMBA_PH+".sMarcha
10
11 //BOMBA CE+
12 CALL "MOTOR", "BOMBA_CE+"
13 eAuto := "ED".SEL_AUTO
14 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"
15 Termico := "ED"."eTermico_Bomb_CE+"
16 REARME := "VAR_HMI".REARME
17 PermisoFuncionMarcha := "SENSORES".CE_SENSOR.Permiso_Motor_BAJO
18 PermisoFuncionParo := "SENSORES"."LVL_SENSOR_CE+".Permiso_Motor_BAJO
19 sMarcha := "BOMBA_CE+".sMarcha
20
21 //BOMBA PH-
22 CALL "MOTOR", "BOMBA_PH-"
23 eAuto := "ED".SEL_AUTO
24 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"
25 Termico := "ED"."eTermico_Bomb_PH-"
26 REARME := "VAR_HMI".REARME
27 PermisoFuncionMarcha := "SENSORES".PH_SENSOR.Permiso_Motor_ALTO
28 PermisoFuncionParo := "SENSORES"."LVL_SENSOR_PH-".Permiso_Motor_BAJO
29 sMarcha := "BOMBA_PH-".sMarcha
30
31 //BOMBA CE-
32 CALL "MOTOR", "BOMBA_CE-"
33 eAuto := "ED".SEL_AUTO
34 Seta_emergencia := "ED"."SETA EMERGENCIA"
35 Termico := "ED"."eTermico_Bomb_CE-"
36 REARME := "VAR_HMI".REARME
37 PermisoFuncionMarcha := "SENSORES".CE_SENSOR.Permiso_Motor_ALTO
38 PermisoFuncionParo := "SENSORES"."LVL_SENSOR_CE-".Permiso_Motor_BAJO
39 sMarcha := "BOMBA_CE-".sMarcha

```


METODO OPERATIVO

Este segmento es similar al anterior, solo que en este caso se hace referencia a las bombas de los líquidos reguladores. Cabe resaltar la introducción de variables dentro del parámetro *Permiso_funcion_paro* de la FB motor. Esto es debido a que se debe realizar el paro de la bomba del líquido regulador siempre y cuando el nivel del tanque sea inferior al 10%.

5.6.4.5. FC3 S_DIGITAL_TO FISICAS

En esta función se realiza la asignación de las variables de salida digitales de cada uno de los DB's del programa a cada una de las variables de salida físicas del PLC

```
▼ Segmento 1: SALIDAS DE DB A FISICAS
Comentario
1 //SALIDAS CONTROL DE TEMPERATURA
2 U "CAL_1".sMarcha
3 = "Km_Cal_1"
4
5 U "CAL_2".sMarcha
6 = "Km_Cal_2"
7
8 U "VENT_1".sMarcha
9 = "Km_Vent_1"
10
11 U "VENT_2".sMarcha
12 = "Km_Vent_2"
13
14 U "VENT_3".sMarcha
15 = "Km_Vent_3"
16
17 U "VENT_4".sMarcha
18 = "Km_Vent_4"
19
20 U "VENT_5".sMarcha
21 = "Km_Vent_5"
22
23 U "VENT_6".sMarcha
24 = "Km_Vent_6"
25
```

```

28 //SALIDAS CONTROL DE RIEGO
29     U    "BOMBA_PRINCIPAL".sMarcha
30     =    "Km_Bomb_Principal"
31
32     U    "BOMBA_ACEQUIA".sMarcha
33     =    "Km_Bomb_Acequia"
34
35     U    "AGITADOR".sMarcha
36     =    "Km_Bomb_Agitador"
37
38     U    "BOMBA_PH+".sMarcha
39     =    "Km_Bomb_PH+"
40
41     U    "BOMBA_PH+".sMarcha
42     =    "Km_Bomb_PH-"
43
44     U    "BOMBA_PH+".sMarcha
45     =    "Km_Bomb_CE+"
46
47     U    "BOMBA_PH+".sMarcha
48     =    "Km_Bomb_CE-"
49
50

```

5.7. PROGRAMACIÓN SCADA

Se denomina SCADA a aquel sistema no físico donde se pueden controlar todos los elementos de la instalación. En este caso se ha hecho uso del software WinCCRuntime que viene incorporado por defecto dentro del programa TIA PORTAL. De esta forma se podrán crear una gran diversidad de elementos gráficos que permitan al usuario observar y operar con los elementos de la instalación.



5.7.1. Configuración de imágenes SCADA

Para que el operario sea capaz de observar y controlar los distintos elementos de la instalación es necesario realizar imágenes que represente de forma intuitiva y sencilla el proceso a controlar.

A continuación se muestran los elementos e imágenes de los que consta el sistema SCADA:

1. Flyer de inicio
2. Cabecera
3. Encabezado
4. Control de riego
5. Control temperatura
6. Ventanas graficas
 - a. Actuadores
 - i. Bomba principal
 - ii. Bomba acequia
 - iii. Agitador
 - iv. Bomba PH+
 - v. Bomba CE+
 - vi. Bomba PH-
 - vii. Bomba CE-
 - b. Gráficos
 - i. Temperatura
 - ii. PH
 - iii. CE
7. Alarmas

5.7.2. Flyer de inicio

Esta será la imagen de bienvenida por defecto a la hora de arrancar el sistema. Como podemos ver, se encuentra el logo de la EUPLA, el título del proyecto en cuestión, autor y número de identificación del proyecto.

Al hacer clic sobre esta pantalla obtenemos acceso a la pantalla principal del proyecto.



Fig. 90 Flyer de inicio

5.7.3. Encabezado



Fig. 91 Cabecera

La finalidad de la cabecera consiste principalmente en proporcionar información acerca de la ventana en la que se encuentra actualmente el usuario (nº3).

De la misma forma se observa la existencia de un botón de retroceso a la ventana anterior a la que hayamos accedido previamente, representado por la flecha (nº1), un botón de regreso a la ventana principal, representado por la casa (nº2) y la existencia de un panel de lectura de fecha y hora (nº4)

5.7.4. Pie de pagina

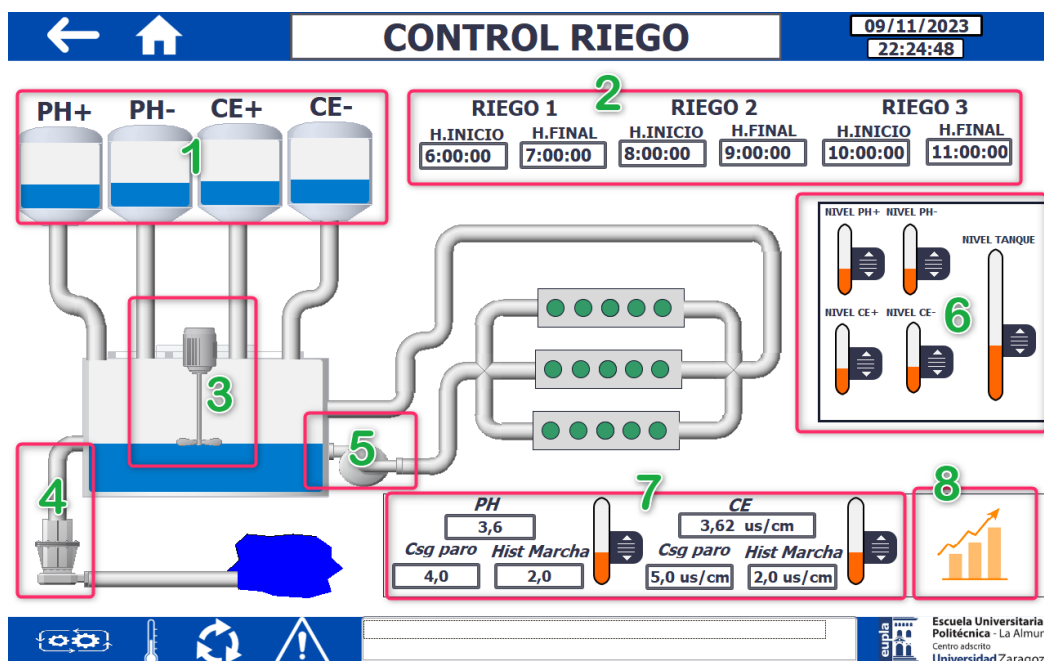


La finalidad del encabezado consiste en permitir la activación del modo de funcionamiento auto/manual (nº1) así como permitir el desplazamiento por las diferentes imágenes del proyecto.

1. **MODO AUTO/MANUAL**: Permite establecer el modo de funcionamiento ya sea automático o manual. Si el modo se encuentra en automático, aparecerá la imagen de una mano, indicando la posibilidad de cambiar a modo manual. Por el contrario si se encuentra en modo manual, se produce el efecto contrario, aparecen los engranajes en el botón indicando la posibilidad de cambiar a modo automático.
2. **CONTROL DE TEMPERATURA**: Permite acceder a la ventana de control de temperatura de la instalación.
3. **REARME**: Permite realizar el rearme del sistema. El rearme del sistema no se producirá hasta que no se rearme el componente afectado (térmico o seta de emergencia)
4. **ALARMAS**: Permite acceder a la ventana de alarmas del sistema
5. **VISUALIZADOR DE ALARMAS**: Pequeña ventana de alarmas con la que visualizar cualquier incidencia al momento
6. **LOGO**

5.7.5. Control Riego

Esta ventana será la principal de nuestro sistema y con la que podremos realizar el control del riego de la instalación.



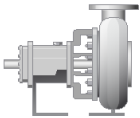
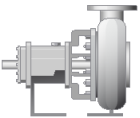
1. **NIVEL TANQUE LÍQUIDOS REGULADORES:** Indica la el nivel al que se encuentra el tanque de cada liquido regulador.
2. **HORARIO DE RIEGO:** Indica las horas de inicio y final de los riegos a realizar
3. **AGITADOR:** Indica el estado en el que se encuentra el agitador
4. **BOMBA ACEQUIA:** Indica el estado en el que se encuentra la bomba acequia
5. **BOMBA PRINCIPAL:** Indica el estado en el que se encuentra la bomba principal
6. **NIVEL DE TANQUES:** Permite modificar el nivel de los tanques de la instalación. Se realiza con objeto de simular el vaciado o el llenado de los tanques.
7. **CONTROL PH Y CE:** Indica los niveles de PH y CE de la solución nutritiva. Al igual que el caso anterior, cuenta con 2 potenciómetros que permiten simular la variación de PH y CE de la solución nutritiva

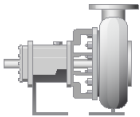
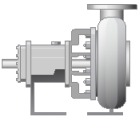
METODO OPERATIVO

8. GRAFICOS DE PH Y CE: Muestra la evolución en la variación del PH y CE de la solución nutritiva.

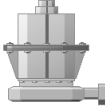
5.7.5.1. Modo manual

En modo manual, todas las bombas y el agitador se pueden poner en marcha con independencia del control horario y del valor de los sensores. Para efectuar la puesta en marcha de la bomba o agitador basta con pulsar sobre el elemento a arrancar mostrando de esta forma una ventana emergente con el estado del actuador.

<p>BOMBA PH+</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>	<p>BOMBA CE+</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>
--	--

<p>BOMBA PH-</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>	<p>BOMBA CE-</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>
--	--

<p>AGITADOR</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p>	<p>BOMBA PRINCIPAL</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>
---	--

<p>BOMBA ACEQUIA</p>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro Manual</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>
--

5.7.5.2. Modo automático

En modo automático, todas las bombas y el agitador se ponen en marcha en función del control horario y del valor de los sensores.

5.7.5.2.1. Control horario

El funcionamiento por control horario consiste en los siguiente:

- Cuando a la hora local del PLC le falten 10 minutos (10s en programa para no esperar tanto) para la activación del riego, se pondrá en marcha el agitador.
- Cuando la hora local llegue a ser la misma o superior a la hora de inicio del riego se producirá la marcha de la bomba principal.
- Cuando la hora local sea superior a la hora de fin del riego en cuestión, se produce el paro de la bomba principal

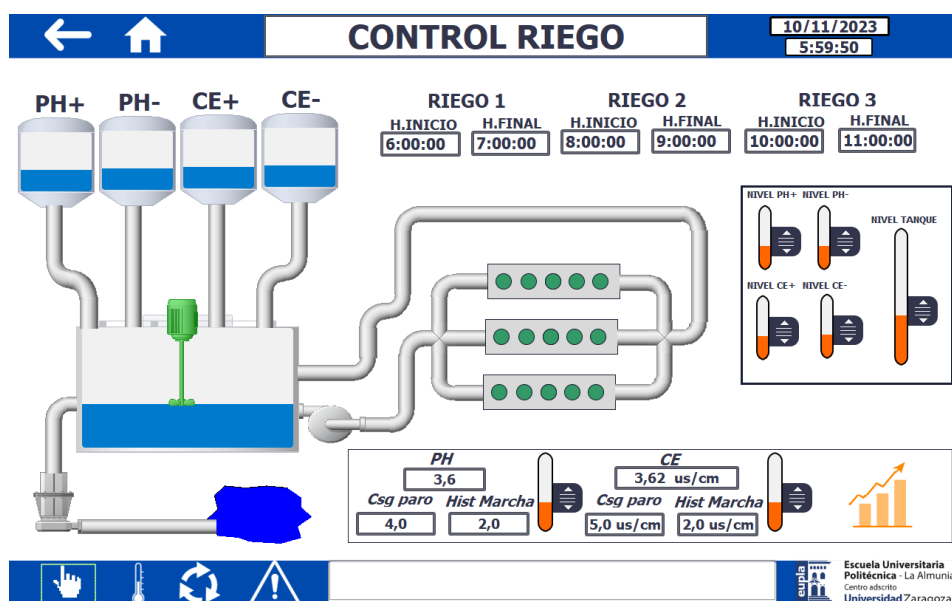


Fig. 92 Activación agitador

METODO OPERATIVO

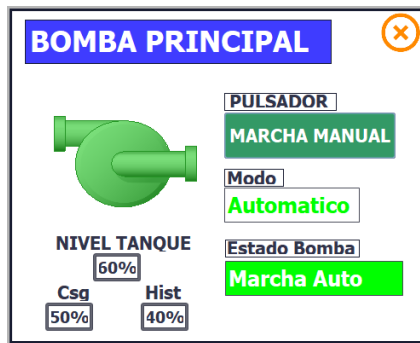
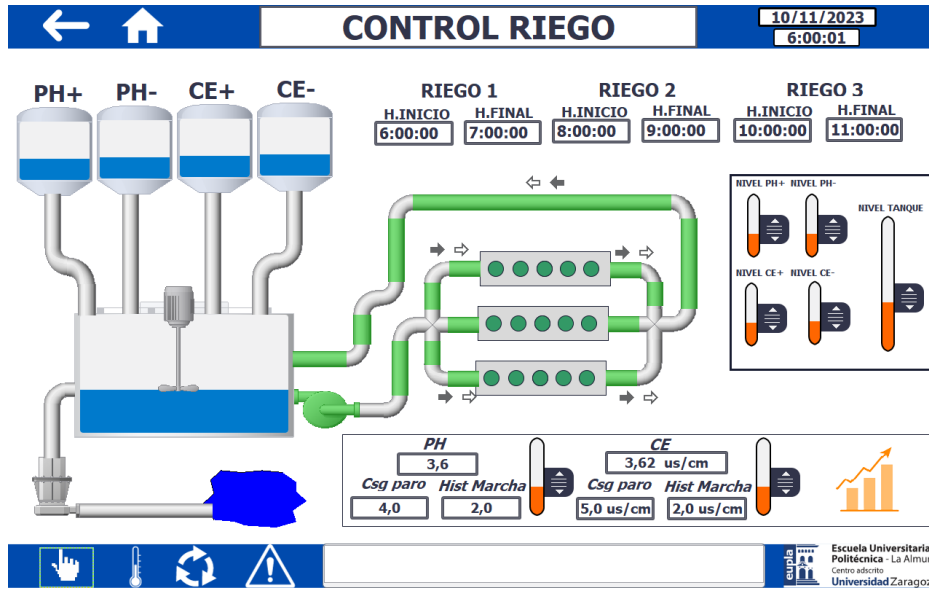
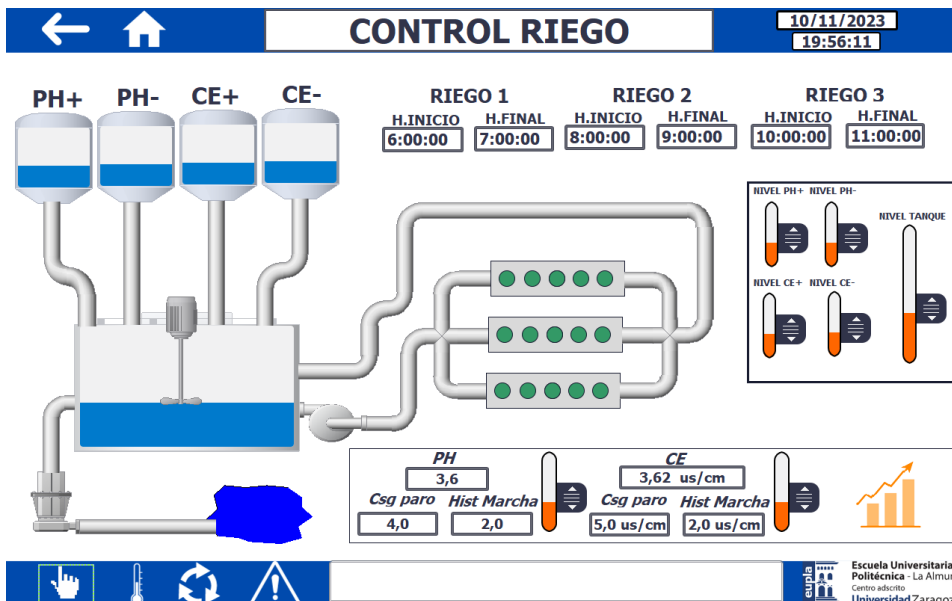


Fig. 93 Activación bomba



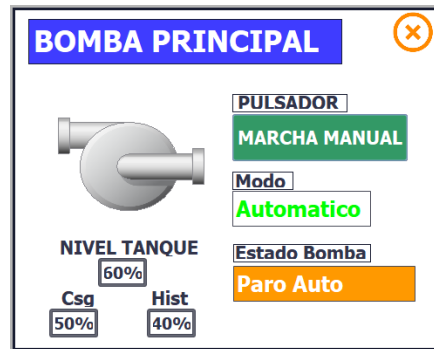


Fig. 94 Fin de riego

5.7.5.3. Control por sensor

El funcionamiento por sensor consiste en lo siguiente:

- Sensor de PH/CE
 - Cuando el valor del sensor se encuentra por encima del **límite superior** establecido se produce la activación de la bomba del líquido regulador **reductor** perteneciente al PH/CE respectivamente. La bomba no se detiene hasta que alcanza la consigna de paro
 - Ocurre lo mismo cuando el valor del sensor se encuentra por debajo del **límite inferior** pero en este caso activando la bomba del líquido regulador que permite **incrementar** el PH/CE. La bomba no se detiene hasta que alcanza la consigna de paro

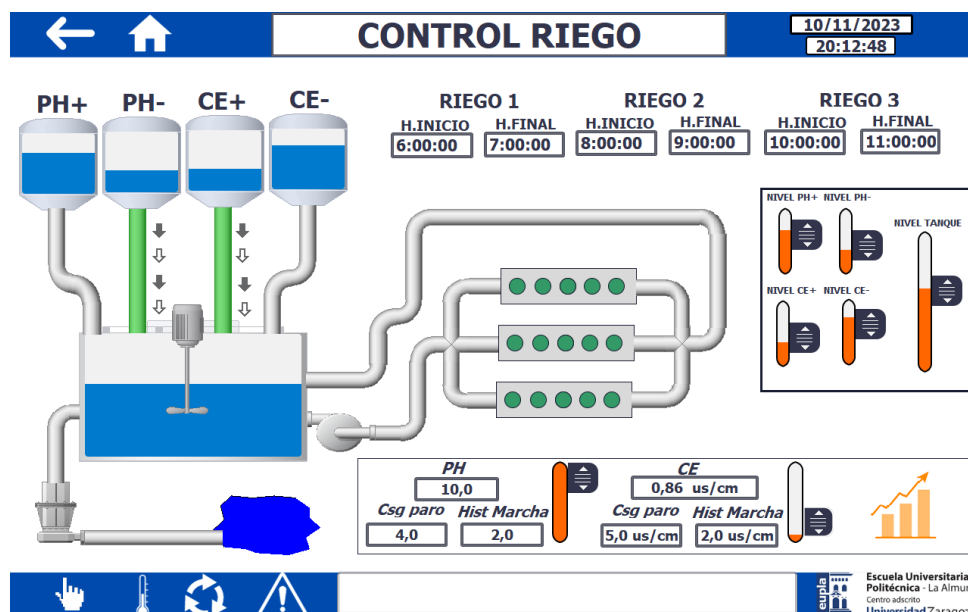


Fig. 95 Control por sensor de PH/CE

METODO OPERATIVO

Al pulsar sobre el botón de grafico se puede observar un gráfico de la evolución del PH y CE

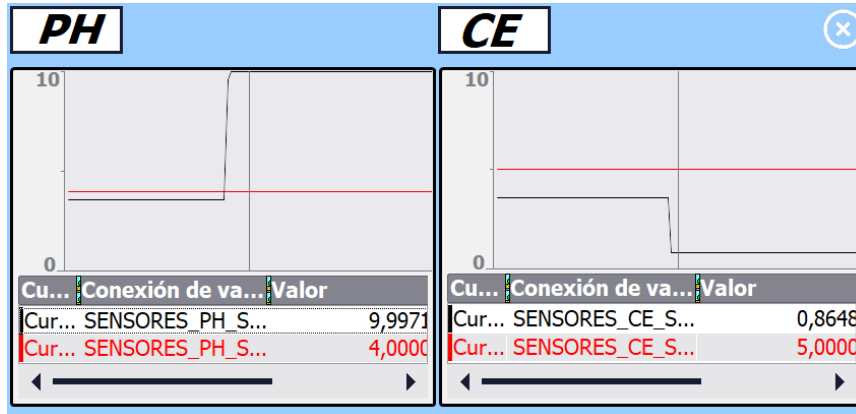


Fig. 96 Gráfico PH y CE

- Sensor de nivel

Cuando el valor del sensor se encuentra por debajo del **límite inferior** establecido

- En el caso de los tanques de líquido regulador de la solución, se produce el **paro de las bombas** hasta que el tanque no alcanza el nivel de consigna establecido.
- En el caso del tanque principal, se produce la **activación de la bomba de la acequia** hasta que el nivel del tanque alcanza el valor de consigna

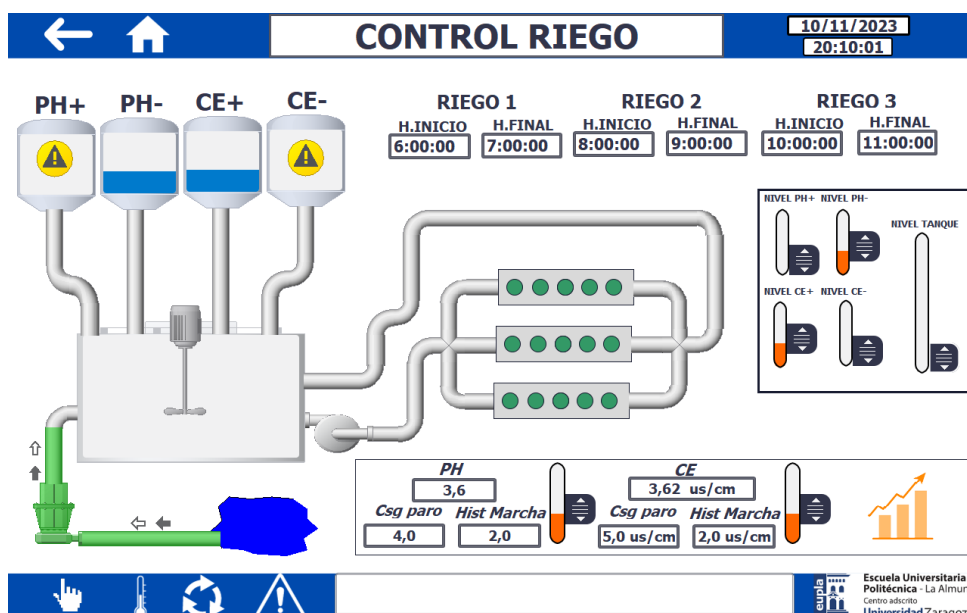


Fig. 97 Control por sensor de nivel

5.7.6. Control temperatura

En esta ventana se realiza el control de la temperatura del invernadero.

5.7.6.1. Modo manual

En modo manual, tanto ventiladores como calefactores se pueden poner en marcha con independencia del valor del sensor de temperatura. Para efectuar la puesta en marcha de la ventilador o calefactor basta con pulsar el botón de marcha asociado a cada actuador.

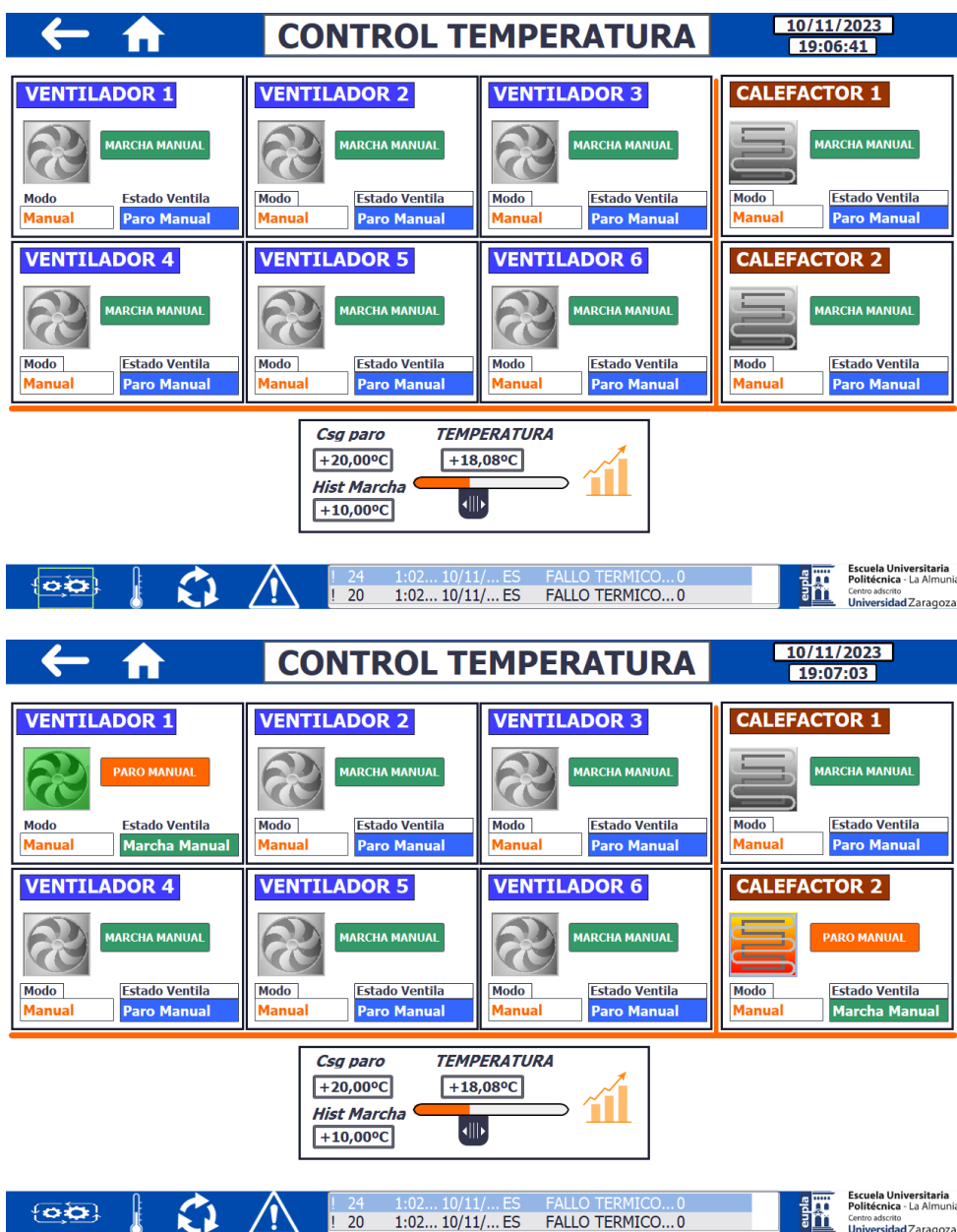


Fig. 98 Control temperatura Modo manual

METODO OPERATIVO

5.7.6.2. Modo automático

En modo automático, todos los ventiladores y calefactores se ponen en marcha en función del valor del sensor de temperatura.

- Si la temperatura es superior al **límite superior** establecido (consigna + histéresis) se produce la **activación de los ventiladores**.
- Si la temperatura es inferior al **límite inferior** establecido (consigna - histéresis) se produce la **activación de los calefactores**.

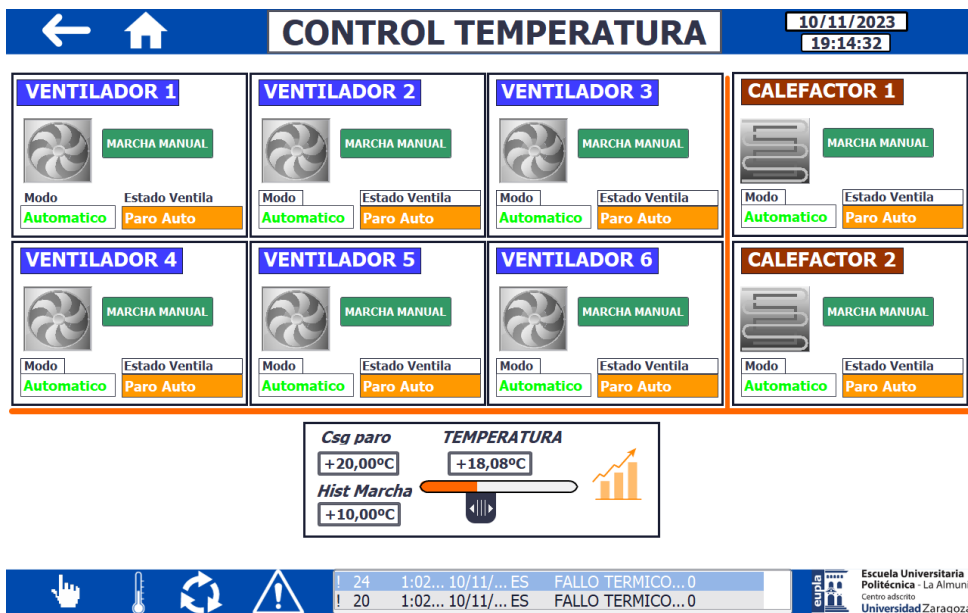


Fig. 99 Control temperatura Modo automático

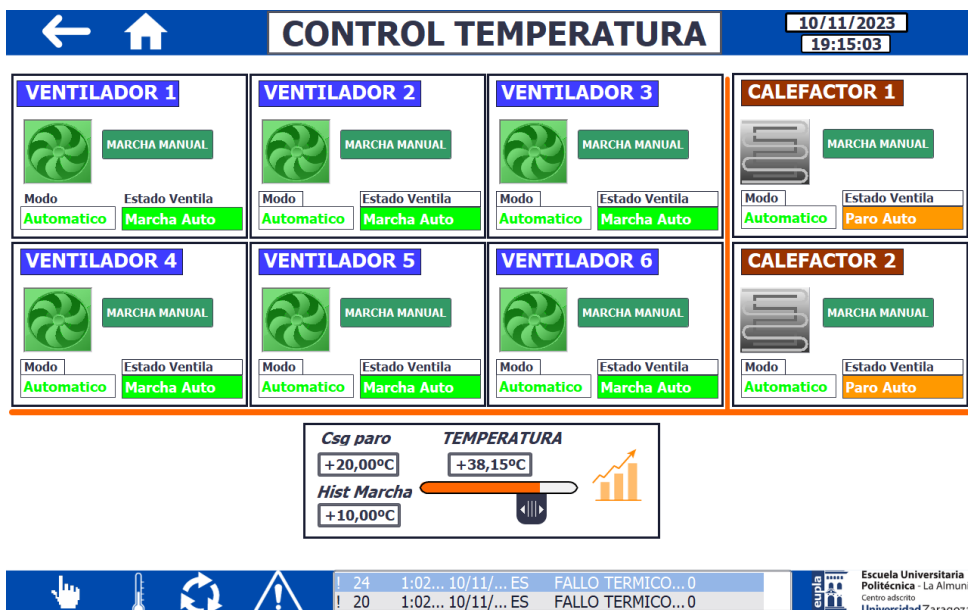


Fig. 100 Valor sensor superior al limite

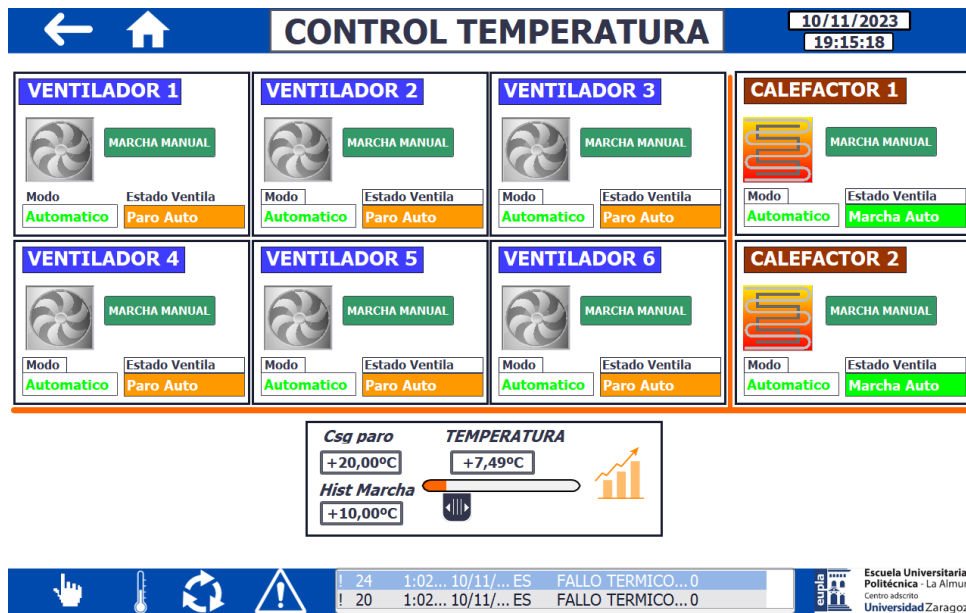


Fig. 101 Valor sensor inferior al limite

Al pulsar sobre el botón de grafico se puede observar un gráfico sobre la evolución de la temperatura.

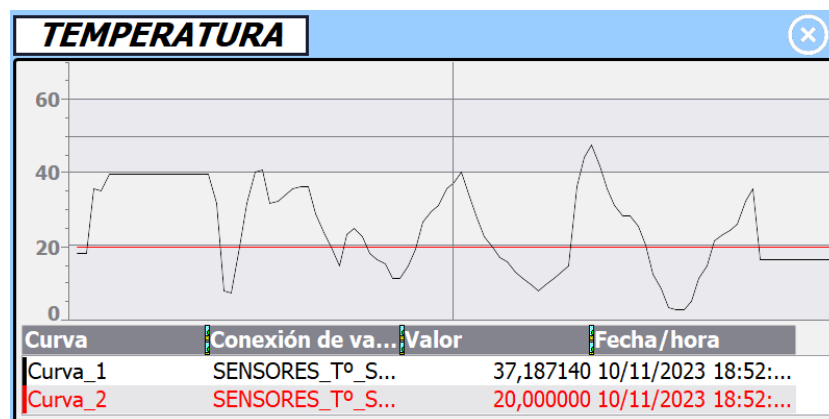


Fig. 102 Grafico de temperatura

METODO OPERATIVO

5.7.7. Alarmas

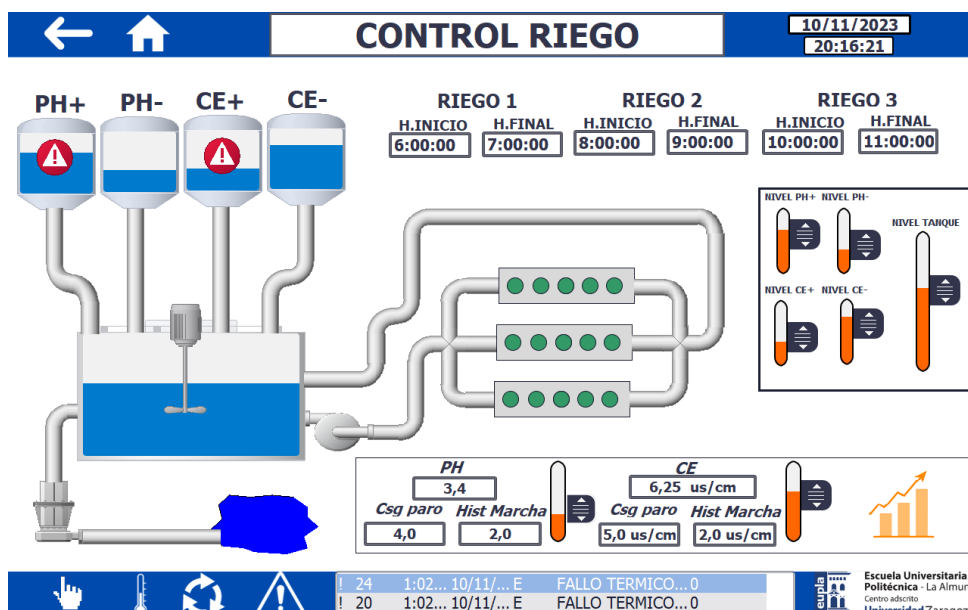
En esta ventana se pueden observar todas las alarmas del sistema.

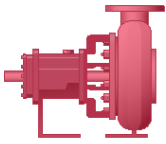
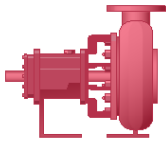
← ALARMAS						10/11/2023
						18:03:23
N.º	Hora	Fecha	Est...	Texto	Acusar gr...	
1	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V2	0	
3	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V2	0	
5	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V3	0	
7	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V4	0	
9	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V5	0	
11	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA V6	0	
13	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA CAL1	0	
15	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA B_ACEQUIA	0	
19	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA PH+	0	
21	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA PH-	0	
17	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA B_PRINCIPAL	0	
23	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA CE+	0	
25	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA CE-	0	
27	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO POR SETA DE EMERGENCIA AGITADOR	0	
26	18:59...	10/11/2...	ES	FALLO TERMICO CE-	0	
22	18:58...	10/11/2...	ES	FALLO TERMICO PH-	0	
14	18:58...	10/11/2...	ES	FALLO TERMICO CALEFACTOR 1	0	
2	18:58...	10/11/2...	ES	FALLO TERMICO VENTILADOR 1	0	

5.7.7.1. Alarma por Térmico









Independientemente del modo de funcionamiento y del tipo de control ya sea de riego o de temperatura, cuando se produce el salto del térmico de cualquiera de los actuadores, el elemento en cuestión se muestra en rojo indicando la existencia de un fallo por térmico.

Para rearmar el sistema, basta con rearmar el térmico del actuador en cuestión y pulsar el botón de rearme.



<h3>BOMBA PH+</h3>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro alarma</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>	<h3>BOMBA CE+</h3>  <p>PULSADOR MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Manual</p> <p>Estado Bomba Paro alarma</p> <p>NIVEL TANQUE 36%</p> <p>Csg 50% Hist 40%</p>
---	--


← ↑
CONTROL TEMPERATURA
10/11/2023
17:58:05

<h4>VENTILADOR 1</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<h4>VENTILADOR 2</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>	<h4>VENTILADOR 3</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>	<h4>CALEFACTOR 1</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>
<h4>VENTILADOR 4</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>	<h4>VENTILADOR 5</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>	<h4>VENTILADOR 6</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>	<h4>CALEFACTOR 2</h4>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro Manual</p>

Csg paro
+20,00°C

Hist Marcha
+10,00°C

TEMPERATURA
+16,66°C



⚙️ 🔄 ⚠️

14	18:5...	10/11/...	E	FALLO TERMICO...0
2	18:5...	10/11/...	E	FALLO TERMICO...0

eupla

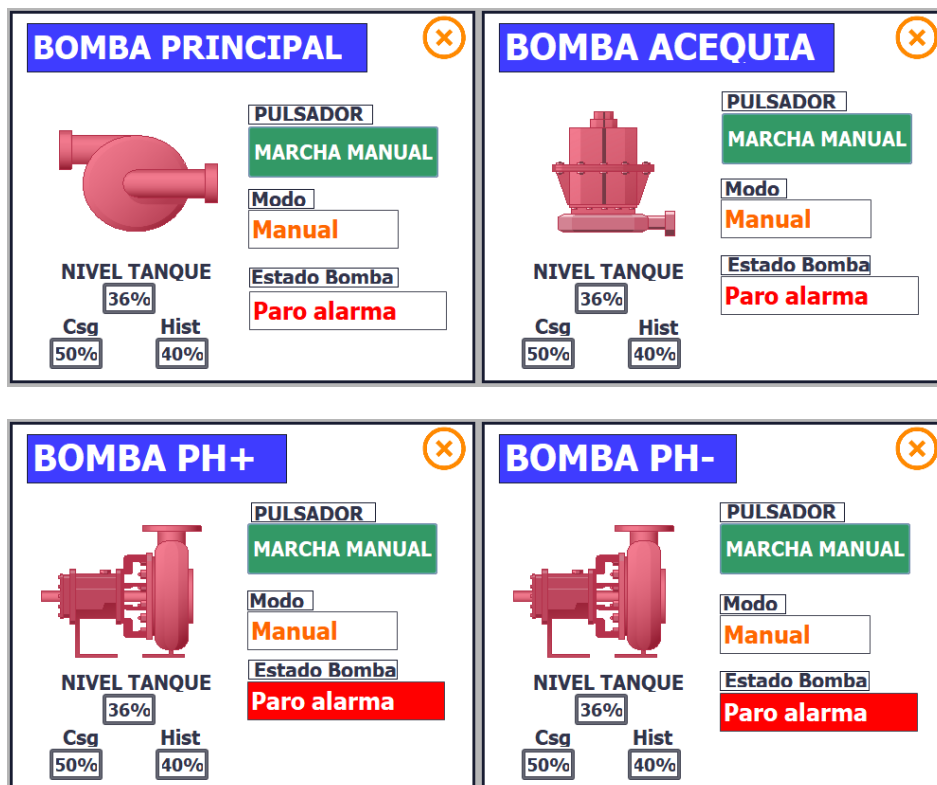
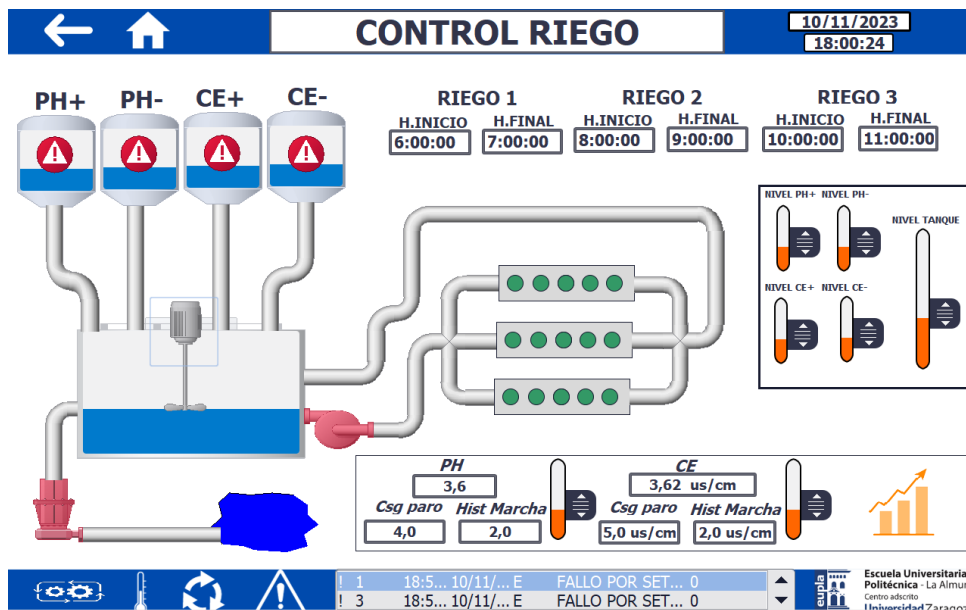
Escuela Universitaria Politécnica - La Almunia
Centro adscrito Universidad Zaragoza

METODO OPERATIVO

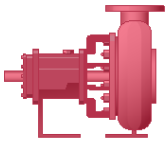
5.7.7.2. Alarma por Seta de emergencia

Al igual que en el caso anterior, en esta ocasión la alarma se produce por la pulsación de la seta de emergencia. Al pulsar la seta de emergencia, todos los elementos se ponen en rojo indicando la existencia de una alarma.

Para rearmar el sistema, basta con rearmar la seta de emergencia y pulsar el botón de rearme.



BOMBA CE-



PULSADOR
MARCHA MANUAL

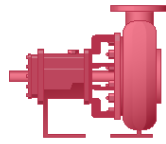
Modo
Manual

Estado Bomba
Paro alarma

NIVEL TANQUE
36%

Csg 50% Hist 40%

BOMBA CE+



PULSADOR
MARCHA MANUAL


Modo
Manual

Estado Bomba
Paro alarma

NIVEL TANQUE
36%

Csg 50% Hist 40%

AGITADOR











PULSADOR
MARCHA MANUAL

Modo
Manual

Estado Bomba
Paro alarma

← ↑
CONTROL TEMPERATURA
10/11/2023
17:59:33

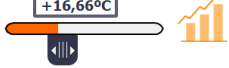
<p>VENTILADOR 1</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>VENTILADOR 2</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>VENTILADOR 3</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>CALEFACTOR 1</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>
<p>VENTILADOR 4</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>VENTILADOR 5</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>VENTILADOR 6</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>	<p>CALEFACTOR 2</p>  <p>MARCHA MANUAL</p> <p>Modo Estado Ventila Manual Paro alarma</p>

Csg paro **TEMPERATURA**

+20,00°C +16,66°C

Hist Marcha

+10,00°C



⚙️ ↻ ⚠️

1	18:5...	10/11/...	E	FALLO POR SET...	0
3	18:5...	10/11/...	E	FALLO POR SET...	0

Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

6. CONCLUSIONES

A lo largo de este Trabajo fin de Grado se ha pretendido realizar el control automático de un invernadero destinado al cultivo hidropónico. Para ello ha sido necesario realizar un estudio analítico sobre las características del cultivo a tratar, tipologías existentes en la actualidad así como los componentes fundamentales de los que debe constar para favorecer el crecimiento y desarrollo del cultivo en condiciones óptimas.

Tras haber concluido el proceso analítico y de diseño, se puede concluir que se ha cumplido el objetivo fundamental del proyecto, realizar el control automatizado del cultivo. Esto se ha logrado debido al cumplimiento de objetivos secundarios que han permitido llegar a la solución:

Se ha conseguido realizar el dimensionamiento de la instalación en cuestión, desde el dimensionamiento de los requerimientos hídricos y eléctricos del cultivo, permitiendo de este modo conocer y seleccionar las características y componentes necesarios con los que poder desarrollar un cultivo hidropónico óptimo, así como la programación del sistema de control con la ayuda de un PLC y HMI con los que poder controlar y visualizar las variables que influyen sobre el mismo

Dentro de las posibles propuestas susceptibles a servir de mejora en el actual proyecto se encuentran:

- La incorporación de **electroválvulas** con las que poder controlar las diferentes camas de cultivo dependiendo de la etapa de germinación en la que se encuentre la planta, ya sea en una fase vegetativa temprana o más avanzada.
- La incorporación de **luces de cultivo**, permitiendo de este modo mejorar el rendimiento del cultivo en aquellos momentos del día con los que no se cuenta con una gran incidencia de radiación solar como son días nublados y noches.
- Empleo de **microcontroladores** como **Arduino o Raspberry Pi**, los cuales, pese a la ligera complejidad que requiere su programación, permiten abaratar en gran medida los costes de la instalación.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1]E. L. R. S.A.S, «Según la FAO, 8,9% de la población del mundo padece de hambre tras la pandemia», Diario La República. Accedido: 23 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/globoeconomia/segun-la-fao-89-de-la-poblacion-mundial-padece-de-hambre-luego-de-la-pandemia-3130845>

[2]Nuevatribuna, «El Crystal Palace», Nuevatribuna. Accedido: 26 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.nuevatribuna.es/articulo/historia/crystal-palace/20161129082604134272.html>

[3]«Glaspalast (Munich)», *Wikipedia*. 13 de abril de 2022. Accedido: 26 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Glaspalast_\(Munich\)&oldid=1082501230](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Glaspalast_(Munich)&oldid=1082501230)

[4]«Ciclo Las Siete Maravillas del Mundo Antiguo: "Los Jardines Colgantes de Babilonia"», Ateneo Mercantil de Valencia. Accedido: 1 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ateneovalencia.es/evento/ciclo-las-siete-maravillas-del-mundo-antiguo-los-jardines-colgantes-de-babilonia/>

[5]«Aztec Chinampas model by Te Mahi, Photographer: Te Papa, © Te Papa | Aquaponics, Garden, Floating garden», Pinterest. Accedido: 1 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.pinterest.com/pin/these-islands-were-called-chinampas-they-had-very-high-crop-yields-with-up-to-7-harvests-a-year-food-drinks-258816309812432276/>

[6]«NASA: CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN EL ESPACIO». Accedido: 1 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hidroponia.mx/nasa-cultivos-hidroponicos-en-el-espacio/>

[7] «Manual de hidroponia», p. 32.

[8]«Hidroponía vertical», Arkiplus. Accedido: 3 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.arkiplus.com/hidroponia-vertical/>

[9]HORTICULTORA60, «Cultivar sin suelo: el huerto hidropónico.», El Huerto en la Ciudad. Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elhuertoenlaciudad.wordpress.com/2015/06/22/cultivar-sin-suelo-el-huerto-hidroponico/>

Bibliografía

[10]«Sistema de cultivo hidropónico de balsa | Sistema de cultivo | Trinog-xs». Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://greenhouseschina.es/3-4-raft-hydroponic-system.html>

[11]M. Basterrechea, «Los 3 Métodos de Aireación Principales en Hidroponía», Hidroponía Casera. Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.hidroponiacasera.net/los-3-metodos-de-aireacion-principales-en-hidroponia/>

[12]J. D. M. Vélez y L. F. C. Segura, «Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde», p. 134, 2018.

[13]«NFT CASERO ¡HAZLO TÚ MISMO!» Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hidroponia.mx/nft-casero-hazlo-tu-mismo/>

[14]E. por J. Pizarro, «Aprende sobre el sistema hidroponía NFT», Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura. Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://agriculturers.com/aprende-sobre-el-sistema-hidroponia-nft/>

[15]Mafitosofia@gmail.com, «FITOSOFIA: CULTIVO EN NGS», FITOSOFIA. Accedido: 28 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://fitosofia.blogspot.com/2015/04/cultivo-en-ngs.html>

[16] J. M. Durán, «NGS®: Un nuevo sistema de cultivo hidropónico», p. 7.

[17]E. por J. Pizarro, «¿Que es la Aeroponía?», Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura. Accedido: 20 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://agriculturers.com/que-es-la-aeroponia/>

[18]G. A. C. SILVA y S. B. CLAUDIO, *Manual práctico del cultivo de la lechuga*. Editorial Paraninfo, 2016.

[19]«Lechugas, Lechuga iceberg, Lechuga romana - Lactuca sativa». Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/lechugas-lechuga-iceberg-lechuga-romana.htm>

[20]«Lechuga Iceberg Boca Agua», El huerto del abuelo S.L. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.elhuertodelabuelo.es/es/hortícolas/17-lechuga-iceberg-boca-agua.html>

[21]G. Portillo, «Lechuga trocadero: características, propiedades, beneficios y cultivo», Jardinería On. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/lechuga-trocadero.html>

[22]«Guadanatura - Productos ecológicos del Valle del Guadalentín.» Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://guadanatura.es/>

[23] leo sanz, «Compra lechuga lollo rosso en Frutería de Valencia», Leo Verduras. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://fruteriadevalencia.com/producto/lechuga-lollo-rosso/>

[24]«Semillas Lechuga Little Gem», Meridiem Seeds. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://meridiemseeds.com/semillas-lechuga/little-gem/>

[25]«Significado de Temperatura», Significados. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.significados.com/temperatura/>

[26]«CAPÍTULO 2: FACTORES QUE CONDICIONAN LA PRODUCCIÓN». Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s04.htm#TopOfPage>

[27]B. P. N. Fernando y M. P. J. Camilo, «DISEÑO, CONTROL E IMPLEMENTACIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS Y AMBIENTALES EN UNA CÁMARA PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA», p. 109, 2008.

[28]«CÓMO INFLUYE EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN EL CULTIVO EN INVERNADERO», Nutricontrol. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://nutricontrol.com/es/como-influye-el-dioxido-de-carbono-co2-en-el-cultivo-en-invernadero/>

[29]A. G. Kin, «Direct and indirect effects of wind on maize seedlings», 1996, Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/894>

[30]«Guía: ¿Qué es la solución nutritiva?: :: Hydro Environment :: Hidroponia en Mexico». Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?id=33&main_page=page

[31]«La Importancia del Agua en Cultivos Hidropónicos», La Importancia del Agua en Cultivos Hidropónicos. Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ecoionics.blogspot.com/2021/03/agua-en-cultivos-hidroponicos.html>

[32]«pH», Hidroponía al cubo. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/ph/>

Bibliografía

[33]«CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y SALINIDAD», Redagrícola Chile. Accedido: 13 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/conductividad-electrica-salinidad/>

[34]«¿Qué es un invernadero? - Portal INSST - INSST», Portal INSST. Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.insst.es/-/-que-es-un-invernader-1>

[35] J. Beltrano y D. O. Gimenez, «CULTIVO EN HIDROPONÍA», p. 181.

[36]«los-invernaderos-de-almeria-analisis.pdf». Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis.pdf>

[37]M. L. I. Agr, «Tipos de Invernadero Agrícola. Clasificación Características y Construcción», Marketing Agropecuario. Blog de Bialar. AgroMarketing Digital. Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bialarblog.com/tipos-de-invernadero-clasificacion-caracteristicas/>

[38]«CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS, MATERIALES Y EQUIPOS DE PRODUCCIÓN». Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s05.htm>

[39]«Invernaderos Multitúnel Capilla - Multicapilla». Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>

[40]«Invernadero tipo tunel o tubular para huertos 4x12x2,40 m - Soutelana», Soutelana Ferreteria SL. Accedido: 28 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://ferreteria.soutelana.com/invernaderos/6302-invernadero-tunel-2-puertas-4x12x240-m.html>

[41]«TAZ-TFG-2022-3327.pdf». Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/119384/files/TAZ-TFG-2022-3327.pdf>

[42]«El clima en Ricla, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) - Weather Spark». Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/40681/Clima-promedio-en-Ricla-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

[43]«Marienberg», Marienberg. Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://marienberg.cl/>

[44]«Nutrientes para la Fibra Coco». Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.groho.es/product/nutrientes-fibra-coco>

[45]«Atlas Scientific | Environmental Robotics», Atlas Scientific. Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://atlas-scientific.com/>

[46]CURSO DE HIDROPONIA #10: *dimensionamiento de tubos de cultivo en sistema NFT/ Rene Cabezas*, (14 de octubre de 2023). Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9UAFudeevrE>

[47]CURSO DE HIDROPONIA #9: *Dimensionamiento del reservorio de la solución nutritiva por Rene Cabezas*, (14 de octubre de 2023). Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=boHcMo64Zg4>

[48]«Tipos de sensores de nivel», Que sensor de nivel escoger. [En línea]. Disponible en: <https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-nivel-elegir/>

[49]«Qué es un PLC, para qué sirve y cómo funciona». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-plc/>

[50]«Protocolos de comunicación industriales», Blog Logicbus. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>

[51]«La diferencia entre PROFIBUS y PROFINET – PI Norte América». Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://us.profinet.com/la-diferencia-entre-profibus-y-profinet/>

Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria	151	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos	177	páginas
<input type="checkbox"/> Planos	31	páginas

La Almunia, a 21 de noviembre de 2023



Firmado: Sergio Ramón Moreno