



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE SISTEMA DE CULTIVO INDOOR INDUSTRIAL MEDIANTE PLC Y PANTALLA HMI

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

REALIZADO POR

Adrián Murciano Carretero

TUTORIZADO POR

Jose Manuel Espinosa Malea

FECHA: Valencia, septiembre, 2019

Resumen

Diseño e implementación de sistema industrial automatizado en bucle cerrado para el cultivo de fresa en interior. Se controlarán los principales parámetros del cultivo: temperatura, humedad ambiental relativa, horas de luz, etc.; mediante el uso de PLC, sensores, actuadores y los equipos de cultivo que sean necesarios. Regulación de temperatura mediante PID. Pantalla HMI para la monitorización y control manual del sistema.

Resum

Disseny e implementació de sistema industrial automatitzat en bucle tancat per al cultiu de maduixa en interior. Es controlaran els principals paràmetres del cultiu: temperatura, humitat ambiental relativa, hores de llum, etc.; mitjançant l'ús de PLC, sensors, actuadors i els equips de cultiu que siguin necessaris. Regulació de temperatura mitjançant PID. Pantalla HMI per al monitoratge i control manual del sistema.

Summary

Design and implementation of automated industrial system in closed loop for indoor strawberry cultivation. The main parameters of the crop will be controlled: temperature, relative humidity, hours of light, etc.; through the use of PLCs, sensors, actuators and the necessary culture equipment. Temperature regulation by PID. HMI display for manual monitoring and control of the system.

Palabras Clave

Automatización, PLC, PID, fresa, interior.

Paraules Clau

Automatització, PLC, PID, maduixa, interior.

Keywords

Automation, PLC, PID, strawberry, indoor.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. OBJETO DEL PROYECTO..... | 9 |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO | 11 |
| 2.1. Antecedentes | 11 |
| 2.1.1. Obtención de planta de fresa en viveros en altura..... | 13 |
| 2.1.2. Cultivo convencional de fresa en Huelva | 16 |
| 2.1.3. Cultivo sin suelo de fresa | 20 |
| 2.1.4. Cultivo sin suelo de fresa en invernadero de cristal con control climático.. | 22 |
| 2.2. Justificación del proyecto | 24 |
| 3. FACTORES A CONSIDERAR | 25 |
| 3.1. Normativa | 25 |
| 3.2. Patentes..... | 25 |
| 3.3. Condiciones del encargo..... | 26 |
| 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS..... | 29 |
| 4.1. Soluciones alternativas | 30 |
| 4.1.1. Tipo de cultivo | 30 |
| 4.1.2. Invernadero | 31 |
| 4.1.3. Sustratos..... | 33 |
| 4.1.4. Cabezal de riego | 33 |
| 4.1.5. Fertilizante..... | 34 |
| 4.1.6. Riego localizado..... | 36 |
| 4.1.7. Sistema de humidificación..... | 36 |
| 4.1.8. Calefacción | 37 |
| 4.1.9. Ventilación..... | 39 |
| 4.1.10. Iluminación artificial | 40 |
| 4.1.11. Sensor de humedad relativa y temperatura | 42 |
| 4.1.12. Controlador lógico programable | 42 |
| 4.1.13. Pantalla HMI..... | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Criterios de selección y justificación de la solución adoptada..... | 45 |
| 4.2.1. Tipo de cultivo | 45 |
| 4.2.2. Invernadero | 46 |
| 4.2.3. Sustratos | 46 |
| 4.2.4. Cabezal de riego | 47 |
| 4.2.5. Fertilizante..... | 47 |
| 4.2.6. Riego localizado..... | 48 |
| 4.2.7. Sistema de humidificación..... | 49 |
| 4.2.8. Calefacción | 50 |
| 4.2.9. Ventilación..... | 50 |
| 4.2.10. Iluminación artificial | 51 |
| 4.2.11. Sensor de humedad relativa y temperatura | 52 |
| 4.2.12. Controlador lógico programable | 52 |
| 4.2.13. Pantalla HMI..... | 53 |
| 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA | 54 |
| 5.1. Sistema y subsistemas | 54 |
| 5.2. Despiece | 55 |
| 5.2.1. Automatización..... | 55 |
| 5.2.2. Cultivo | 57 |
| 5.2.3. Riego..... | 58 |
| 6. PROGRAMACIÓN | 59 |
| 6.1. Bases teóricas | 59 |
| 6.2. Programación..... | 60 |
| 7. ANEXOS..... | 68 |
| 7.1. Planos..... | 68 |
| 7.2. Pliego de condiciones | 71 |
| 7.3. Presupuesto..... | 76 |
| 8. Bibliografía..... | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. - Necesidades climáticas fructificación de la fresa..... | 28 |
| Tabla 2. - Necesidades suelo y agua fructificación de la fresa | 28 |
| Tabla 3.- Selección tipo cultivo | 46 |
| Tabla 4.- Selección invernadero | 46 |
| Tabla 5.- Selección sustrato..... | 47 |
| Tabla 6.- Selección fertilizante | 48 |
| Tabla 7.- Selección de riego | 49 |
| Tabla 8.- Selección sistema de humidificación..... | 49 |
| Tabla 9.- Selección calefacción | 50 |
| Tabla 10.- Selección de ventilación..... | 51 |
| Tabla 11.- Selección iluminación artificial..... | 52 |
| Tabla 12.- Selección termohigrómetro | 52 |
| Tabla 13.- Selección automática | 53 |
| Tabla 14.- Selección pantalla HMI | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Ilustración 1.- Campo de fructificación de fresa..... | 10 |
| Ilustración 2.- Flor y frutos de fresa..... | 12 |
| Ilustración 3.- Desinfección con bromuro de metilo..... | 13 |
| Ilustración 4.- Planta de fresa procedente de casa obtentora..... | 14 |
| Ilustración 5.- Vivero en altura con plantas hijas listas para el arranque..... | 15 |
| Ilustración 6.- Túneles de cobertura..... | 16 |
| Ilustración 7.- Medidas de los caballones..... | 17 |
| Ilustración 8.- Tunelillos de cobertura..... | 18 |
| Ilustración 9.- Recolección de la fresa..... | 19 |
| Ilustración 10.- Sistema de cultivo sin suelo de fresa..... | 21 |
| Ilustración 11.- Cultivo sin suelo de fresa en invernadero..... | 23 |
| Ilustración 12.- Programas de mejora con influencia en Huelva..... | 25 |
| Ilustración 13.- Temperaturas máximas y mínimas medias Segovia..... | 29 |
| Ilustración 14.- Estructura y canales de PVC..... | 30 |
| Ilustración 15.- Invernadero de cristal tipo venlo..... | 32 |
| Ilustración 16.- Cinta de riego..... | 36 |
| Ilustración 17.- Calderas calefacción por agua..... | 39 |
| Ilustración 18.- Ventilación invernadero..... | 39 |
| Ilustración 19.- Lámpara LED CF-UT01..... | 41 |
| Ilustración 20.- HMI SIMATIC Comfort Siemens TP1200..... | 44 |
| Ilustración 21.- Pantalla principal panel HMI..... | 55 |
| Ilustración 22.- Cabezal de riego..... | 58 |
| Ilustración 23.- Bloques de programa..... | 60 |
| Ilustración 24.- Main [OB1]..... | 60 |
| Ilustración 25.- Adquisición de entradas [FC1]..... | 61 |
| Ilustración 26.- Calculo de temperaturas y humedades medias, máximas y mínimas [FC1]..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 27.- Adquisición fecha y hora [FC2] | 62 |
| Ilustración 28.- Iluminación [FC3]..... | 63 |
| Ilustración 29.- Riego [FC4] | 63 |
| Ilustración 30.- Temperatura [FC5] | 64 |
| Ilustración 31.- Humedad [FC6] | 65 |
| Ilustración 32.- Datos [DB1] | 66 |
| Ilustración 33.- Variables PLC..... | 67 |

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este proyecto es el diseño de un sistema industrial automatizado para el cultivo de hortalizas en interior. Para ello utilizaremos un PLC que controlen los parámetros del cultivo, mediante regulación PID cuando sea necesario, de forma que el cultivo se desarrolle en condiciones óptimas. Utilizaremos también pantallas HMI para la monitorización y control manual del sistema, además de los sensores, actuadores y equipos de cultivo que sean necesarios.

La finalidad de este proyecto es doble:

- Aumentar la eficiencia de los cultivos tanto en consumo de agua y fertilizantes como en producción por hectárea, con el objetivo de minimizar el impacto ecológico, lo que es cada día más necesario, y aumentar la rentabilidad de los agricultores. Al mismo tiempo, al ser el cultivo en interior, se minimiza el uso de plaguicidas.
- La segunda es la obtención de un sistema de cultivo óptimo, independientemente de la climatología en localización geográfica donde se lleve a cabo. Esto no solo permitirá el cultivo de hortalizas en lugares y fechas diferentes a los ordinarios, sino que también simplifica el cultivo de hortalizas como la fresa, que actualmente se cultiva en dos fases, en dos localizaciones separadas por cientos de kilómetros, por sus especiales necesidades climáticas.

Esta particularidad, sumada al elevado precio de la fresa en comparación con otras hortalizas, es el motivo por el que vamos a diseñar la programación del controlador PLC para el cultivo óptimo de la fresa en su etapa de fructificación. Se ha elegido la etapa de fructificación porque es la etapa más costosa, la que más beneficios produce y la que está más concentrada en un único territorio, Huelva, donde las hectáreas cultivables escasean.

El objeto de este proyecto será entonces, más concretamente, desarrollar un sistema de cultivo en interior que permita a los cultivadores de planta de fresa en viveros en altura asumir también la etapa de fructificación, en regiones donde históricamente, por climatología, no ha sido posible. Esto, entre otras ventajas, simplifica el trasplante de las plantas de fresa obtenidas en los viveros, ya que ya no tendrán que ser transportadas hasta Huelva.



Ilustración 1.- Campo de fructificación de fresa en Huelva

Los principales parámetros a controlar para el cultivo óptimo de la fresa, como justificaremos posteriormente, son:

- Temperatura
- Humedad relativa en el ambiente
- Horas de luz
- Horas de frío acumuladas previamente
- Suelo (textura y porcentaje de caliza)
- Riego (programa de riego, fertirrigación, pH y conductividad)

Las necesidades de otras hortalizas son, por lo general, menos exigentes que las de la fresa, por lo que también se podrán cultivar utilizando el mismo equipamiento, modificando la programación en función de las necesidades específicas de cada hortaliza.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1. ANTECEDENTES

El principal antecedente a este proyecto es el cultivo fresa en la zona de Huelva, en sus diferentes variantes: cultivo protegido por grandes túneles o tunelillo de plástico, cultivo sin suelo, cultivo en invernadero, etc. En los años 70 se introduce el sistema de producción californiano en la costa de Huelva que, tras su adaptación, consiguió el despegue de esta región muy deprimida económicamente.

La producción de fresa en Huelva es de gran relevancia, ya que en esta se concentra más del 90% de la producción española, siendo a su vez España la sexta potencia productora de fresa, la mayor de Europa, con una producción de 360.416 toneladas en 2017. España es el segundo país con mayor rendimiento en el cultivo de fresa, con un promedio de 52,9 toneladas por hectárea, solo superado por Estados Unidos [1]. Esto se debe a las condiciones climáticas y a la tecnología empleada en los campos de Huelva.

La fresa es una planta herbácea, vivaz, rastrera y de pequeño porte, unos 25 centímetros. El sistema radicular es fasciculado, poco profundo: el 70% de las raíces se desarrollan en los primeros 15 centímetros y el resto en los 30 siguientes. El tallo o corona está comprimido en una roseta cubierta por hojas basales, o estipula solapadas. En la corona se insertarán las raíces, hojas y flores. Las hojas presentan entre 3 y 5 folios. En las axilas de las hojas se forman las yemas que en función del estado nutricional y las condiciones ambientales darán lugar a tallos, estolones o inflorescencias [2].

Los estolones son unos filamentos largos, cilíndricos con nudos, que crecen a nivel del suelo. Estos nudos, en contacto con la tierra, forman una nueva corona, emiten nuevas raíces y hojas dando lugar a una nueva planta de fresa. Una planta vigorosa puede producir entre 10 y 15 estolones, que a las 2 o 3 semanas de enraizados son autosuficientes, dando lugar a las nuevas plantas con idénticos caracteres que la planta madre [3, p. 106].



Ilustración 2.- Flor y frutos de fresa

Las flores son de color blanco, agrupándose en racimos terminales. Las flores de las variedades comerciales son hermafroditas, los estambres y pistilos se encuentran en la misma flor. Estos pistilos, al ser fecundados, darán origen a unos pequeños frutos, los achenios, que se insertan en el receptáculo carnoso,

luego el fruto es un poli achenio, que tras la maduración adquiere una coloración roja intensa [2].

La planta de fresa puede permanecer varios años en el terreno, pero en la actualidad la mayoría de los agricultores plantan todos los años, habiendo desaparecido el cultivo de más de un año. Existen variedades de fresa reflorecientes, o de día largo; no reflorecientes, o de día corto; y otras de día neutro. Las que se cultivan hoy en Huelva son las no reflorecientes, cuyo ciclo de cultivo natural es el siguiente:

- Cuando los días son largos y las temperaturas altas, la planta se multiplica vegetativamente, formando estolones en detrimento de la producción de fruto.
- Al acortarse los días y descender las temperaturas se produce una paralización progresiva del crecimiento, la acumulación de reservas en las raíces y comienza la iniciación floral.
- Con condiciones ambientales muy desfavorables se paraliza en crecimiento hasta que la planta acumula el frío necesario y sale de la latencia.
- Cuando se alargan los días y elevan las temperaturas se reanuda la actividad vegetativa y comienza la floración y fructificación de la planta, si ha acumulado las horas de frío necesarias [3, p. 108].

En Huelva, las temperaturas son suaves, lo que permite la actividad vegetativa todo el año. Esto hace que las plantas de fresa se tengan que producir en viveros en altura para poder acumular las horas de frío necesarias para florecer.

2.1.1. OBTENCIÓN DE PLANTA DE FRESA EN VIVEROS EN ALTURA

La producción de planta de fresa se realiza en viveros en altura para que las plantas acumulen las horas de frío necesarias para florecer. También puede dar más garantía de que se encuentren libres de plagas y enfermedades. Estos viveros se sitúan en zonas frías con altitudes comprendidas entre los 850 y 1.000 metros, concentrándose un 90% en Segovia, un 7% en Ávila y anecdóticamente en Granada. Los viveros de España se consolidan como el segundo productor de planta de fresa en el mundo, tras California [2].

Una vez elegida la parcela de cultivo, el primer paso es preparar el suelo para conseguir un desarrollo adecuado de la planta madre, que formará los estolones que, una vez enraizados, constituirán las plantas, que tras su extracción se plantarán en Huelva para la producción de fresas.

La preparación comienza con una labor profunda para romper y voltear el suelo, para posteriormente desmenuzar y mullir el suelo dejándolo preparado para su posterior desinfección. Esta desinfección es necesaria para evitar la presencia de malas hierbas y patógenos en el suelo. Uno de los productos más empleados ha sido el bromuro de metilo, prohibido en el protocolo de Montreal.



Ilustración 3.- Desinfección con bromuro de metilo

Hoy en día se ha sustituido por el dicloropropeno, cloropicrina, metam sodio y dazomet, siendo obligatorio a emplear plástico VIF (o el novedoso TIF) para cubrir el desinfectante utilizado, que impide en gran medida la emisión de gases a la atmósfera, además de potenciar la acción desinfectante del producto [3, pp. 119-124].

Una alternativa no química al bromuro de metilo es la desinfección con vapor de agua cuya problemática reside en el alto coste pues se necesita mucha energía y tiempo para calentar el suelo. Otra alternativa es la solarización en la que son necesarias altas temperaturas que no se dan en el mes de marzo en las zonas de producción de planta [2].

En el mes de abril, previo a la plantación, se vuelve a realizar un laboreo del terreno, con ayuda de un tractor y un apero, dejando un microrelieve fino con el que se obtiene un lecho de plantación adecuado [3, p. 117].

El material vegetal certificado procedente de la casa obtentora es transportado y almacenado a bajas temperaturas hasta el momento de la plantación. La garantía de autenticidad de la variedad es la tarjeta rosa emitida en origen por los obtentores. Uno o dos días antes de la plantación se sacan las plantas de la cámara frigorífica para que se vayan adaptando a las condiciones climáticas con las que se encontrarán en el exterior [2].

En campo las plántulas se separan, se limpian y humedecen antes de colocarlas en la máquina trasplantadora. Al mismo tiempo que se colocan las plantas en las



Ilustración 4.- Planta de fresa procedente de casa obtentora

bandejas se llenan las tolvas de abono e insecticida del suelo. La máquina consta de una serie de puestos donde los operarios colocan cada planta en unas pinzas que la depositan en el surco de 15 centímetros de profundidad realizado con una reja. El marco de plantación empleado es de 1,6 metros entre líneas y entre 25 y 35 centímetros entre plantas de la línea, según la variedad de empleada.

Una vez realizada la plantación se procede a instalar el sistema de riego por aspersión, no debiendo transcurrir mucho tiempo entre la plantación y el primer riego. El marco de riego más habitual en la zona es de 15 por 12 metros, siendo imprescindible un aporte continuo de agua para garantizar el enraizamiento de la planta madre y posteriormente de los estolones. A medida que la planta se va desarrollando irá formando estolones, y en menor medida flores y frutos. Cada 15 a 20 días se realizan una serie de tratamientos fitosanitarios, según las condiciones climáticas de la zona.

Con días largos y temperaturas elevadas (días de al menos 12 horas de duración y temperaturas cercanas a los 15 °C), a partir de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona, se forman los estolones. Como el objetivo de esta producción es la formación de estolones, se hace necesario eliminar todo aquello que suponga una

competencia por los nutrientes, como pueden ser las flores y los frutos. También son eliminados los estolones que superan la cantidad óptima deseada por planta madre.

Inicialmente se dan riegos de unos 40 minutos cada tres días, y a medida que avanza el crecimiento de la planta la frecuencia de riego será mayor. En los meses de mayo y junio se mantiene la cadencia de riego aumentando su duración con lo que se llegan a realizar riegos de una hora y 40 minutos a dos horas con la misma frecuencia. Más adelante, en los meses de mayor temperatura, julio y agosto para cubrir las mayores necesidades de la planta en la zona se aplicarán de 7 a 8 milímetros diarios con un tiempo de riego de 2 horas a dos horas y media. Esta cadencia se mantiene prácticamente hasta el momento de la recolección.

El arranque de las plantas se realiza entre septiembre y octubre, obteniéndose una producción de 500 mil a 600 mil plantas útiles por hectárea. La recolección de la planta de fresa se realiza de forma mecánica, segando o no la parte aérea. En ambos casos la primera operación a realizar será el desmontaje del sistema de riego [3, p. 117].



Ilustración 5.- Vivero en altura con plantas hijas listas para el arranque

Del campo se trasladan en el remolque o en boxes, lo antes posible al almacén, donde se seleccionan aquellas plantas aptas para el cultivo. Se cortan las hojas y parte de los peciolos, si no viene cortado del campo, y se elimina el exceso de tierra. Las plantas se agrupan en manojos de 10 unidades y se colocan en cajas dentro de una bolsa de polietileno, para mantener la turgencia. Inmediatamente las cajas son trasladadas a una cámara frigorífica, o un camión frigo, en el que se realiza el transporte hasta la zona de producción de fruto, fundamentalmente Huelva, donde serán trasplantadas [2].

En cada una de las cajas se incluirá una certificación de planta fresca de altura, que nos garantizará una planta sana, libre de plagas y enfermedades, que ha acumulado las horas de frío necesarias para una correcta brotación y floración. Esta etiqueta garantiza el cumplimiento de la Directiva 92/34/CEE y el Real Decreto 929/1995, relativos al control certificación y comercialización de plantas de vivero de frutales [3, p. 125].

2.1.2. CULTIVO CONVENCIONAL DE FRESA EN HUELVA

La fresa en Huelva se está produciendo con unas instalaciones muy sencillas tanto de cobertura como de riego. En cuanto a la cobertura para proteger al cultivo se emplean los grandes túneles, de forma semicircular o elíptica. Su anchura es de 6,6 metros y la altura está comprendida entre 2 y 3 metros. La longitud de los túneles no

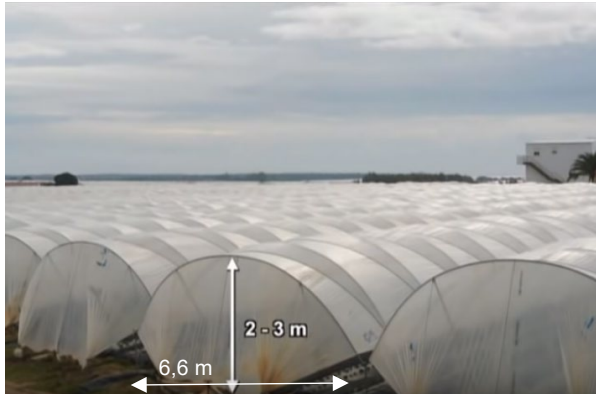


Ilustración 6.- Túneles de cobertura

debe superar los 100 metros, aunque lo habitual es que se queden entre los 60 y 70 metros. La estructura consta de dos partes: la base que tiene forma de i griega y los arcos, sobre la que se coloca un plástico de cobertura, polietileno térmico o EVA, con un grosor de 150 a 200 micras que se tensa sobre la estructura con una cuerda cruzada sobre ellos.

Además, es necesario un sistema de riego formado por una balsa, el cabezal de riego y una red de tuberías y cintas de riego, que distribuyen el agua y abono por toda la parcela [2].

El cultivo de la fresa comienza con un pase de grada o de cultivador, para enterrar los restos que hayan quedado del cultivo anterior y mullir el terreno. Después, para mejorar la estructura y aumentar la fertilidad, se realiza un abonado orgánico mediante la aplicación de estiércol. Tras el abonado se da un pase de subsolador, que rompe el suelo en profundidad y permite el drenaje adecuado del suelo. A continuación, se instala el riego por aspersión y se da un riego de unas 6 o 7 horas, para humedecer los primeros centímetros del suelo [3, pp. 128-131].

Justo antes de realizar el armado del acolchado con plástico negro se da un riego más corto para quitarle la posible costra que se haya podido formar. Seguidamente, se desmonta el sistema de riego por aspersión y se procede a realizar el armado del acolchado, en forma de caballón. A la vez se instala la cinta de riego, se inyecta el producto para desinfectar el suelo y se cubre con el plástico negro, que evita la presencia de malas hierbas [3, pp. 132-139].

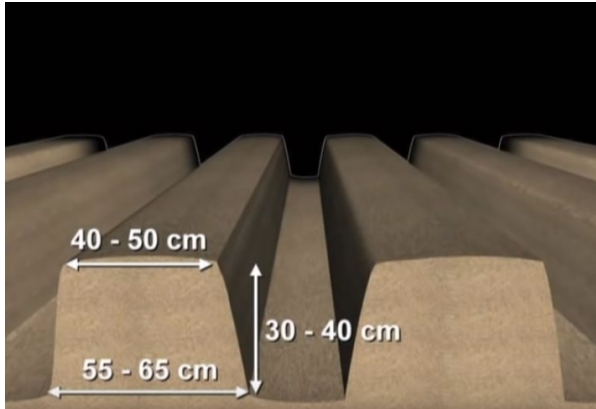


Ilustración 7.- Medidas de los caballones

El plástico negro facilita el desarrollo del cultivo en sus primeras fases y evita que los frutos se manchen perdiendo así valor comercial. Estos caballones tienen una anchura comprendida entre 40 y 50 centímetros en la parte superior y de 55 a 65 en la inferior, su altura es de unos 30 a 40 centímetros y la distancia entre el centro de los caballones es de 110 centímetros [2].

Posteriormente se engancha la cinta de riego a la tubería y simultáneamente se vuelve a instalar el riego por aspersión necesario en las primeras fases del cultivo. Es necesario, cada cuatro o cinco años, quitar todas las estructuras y nivelar la parcela para facilitar el drenaje. Días después se colocan las estructuras en forma de i griega de los túneles.

La plantación se realiza en octubre con planta fresca procedente de viveros de altura. En el campo lo primero que se hace es el marcado de los agujeros de plantación, donde se situarán cada una de las plantas. En cada lomo se colocan dos líneas de plantas con una separación de 25 centímetros entre líneas. La distancia más habitual entre plantas en la línea es de 25 a 35 centímetros, consiguiendo así una densidad de 55.000 a 60.000 plantas por hectárea. La plantación se realiza de forma manual, enterrando la planta hasta el cuello. Se ha de evitar tapar la corona o dejar las raíces al descubierto. Tras la plantación es necesario regar con el fin de garantizar un correcto enraizamiento de la plántula [2].

Unos 20 a 30 días tras la plantación, se colocarán los túneles que protegerán a la planta a lo largo del cultivo. Primero se coloca la estructura y sobre ella un plástico de cobertura, que se tensa con una cuerda, que cruza de un lado a otro, para dar la forma final al túnel. En algunos casos el plástico no se entierra en los extremos, para una mejor aireación. Por la misma razón y dependiendo de la zona, se cierran o no los laterales del túnel. Con este sistema se consigue mayor precocidad, mayor rendimiento y una mayor protección frente a heladas y pájaros.

Los tunelillos, tradicionalmente empleados en Huelva, hoy quedan relegados a pequeñas explotaciones y parcelas de geometría compleja, donde no se pueden

emplear los grandes túneles. Aquí, cada lomo se cubre con un tunelillo de plástico, de unos 60 o 70 centímetros de altura, que habrá que manejar de forma individual, lo que supone un elevado coste de mano de obra [2].

Es imprescindible una balsa de riego, que actúe como regulador entre los momentos de máxima y mínima demanda. A continuación, se encuentra el cabezal de riego, desde donde se impulsa el agua hacia el sistema, además de incorporar elementos para filtrar, medir, comprobar la presión e incorporar los fertilizantes y tratamientos necesarios al agua de riego. Suele haber varios filtros para eliminar impurezas, partículas y elementos en suspensión que puede llevar el agua y que pueden obstruir la red de riego. El filtro de arena retiene partículas orgánicas. Posteriormente, se colocan uno o varios filtros de mallas o de anillas, que se emplean para retener partículas inorgánicas.



Ilustración 8.- Tunelillos de cobertura

Junto con el cabezal de riego se instala el equipo de fertirrigación, formado por varios tanques de fertilizantes y un tanque de ácido para regular el pH de la solución nutritiva, conectados en paralelo a la red de distribución. Además, se ha de contar con válvulas e inyectores que incorporan la solución nutritiva en la red de riego, según las necesidades del cultivo. Todo ello regulado por un ordenador o autómatas donde se programa el riego de cada uno de los sectores de la finca. En las primeras fases de cultivo también se emplean microaspersores, para crear un microclima que favorezca el desarrollo de la planta [2].

El agua se distribuye por una tubería principal enterrada, de polietileno o de PVC dependiendo de su diámetro, de la que parten las tuberías secundarias y de éstas las terciarias de polietileno de baja densidad, que llevarán el agua hasta las líneas de goteo. Los elementos emisores más empleados son:

- Goteros o cinta de riego, a lo largo de todo el ciclo de cultivo.
- Microaspersores, durante las primeras semanas para garantizar humedad ambiental y disponibilidad de agua necesaria para el crecimiento de las plántulas.

- Además, se colocan elementos de medida y control para un manejo adecuado del riego [3, pp. 154-157].

Una vez en el terreno, la planta comenzará el desarrollo vegetativo con la emisión de nuevas raíces y nuevas hojas. Posteriormente comenzará a florecer, pero si en esta fase se alcanzan temperaturas de 0 °C, las flores pueden verse dañadas dando lugar a frutos deformados. La polinización es llevada a cabo por el viento o insectos como abejas. Una vez polinizada la planta y fecundado el ovario, se formará el fruto, que se engruesa y enriquece en agua y azúcares. Es necesario que todos los ovarios queden fecundados para obtener frutos de forma regular.

El cultivo de la fresa puede verse afectado por distintas plagas y enfermedades. Su control y tratamiento, en la mayoría de los casos, se basa en las normas dadas en el reglamento de producción integrada y otros sistemas de certificación, donde se indica cuáles son los umbrales de tratamiento y los tratamientos a realizar.

Como en cualquier otro cultivo, en la fresa es necesario realizar el control de las malas hierbas. Para ello se emplea el acolchado negro y a lo largo de la campaña se realizan tratamientos herbicidas en los pasillos desnudos, con algún producto permitido. Si aparecen hierbas en el acolchado, estas se tendrán que eliminar de forma manual [2].

Para regular las condiciones ambientales dentro del túnel, se pueden abrir o cerrar los plásticos. Si la temperatura y la humedad son elevadas se abren para facilitar la ventilación del cultivo. En cambio, si se prevén lluvias, los plásticos de la cubierta se bajan para evitar que los frutos se mojen y manchen. En los tunelillos esta operación se hace imprescindible, no sólo para el control ambiental, sino para la polinización y para la recolección.

El periodo de recolección va desde enero, las fresas más tempranas, a mayo o junio. La recolección se realiza de forma manual procurando que no sufran ningún daño,



Ilustración 9.- Recolección de la fresa

ya que la fresa es un producto muy perecedero. Su destino puede ser el consumo en fresco, tanto para el mercado nacional como para la exportación, o para la industria. Del campo se llevan en el menor tiempo posible al almacén, donde se terminan de confeccionar y se enfrían dejándolas

listas para su expedición. La producción media se encuentra por encima de 50 toneladas por hectárea.

Finalizada la campaña de recolección se procede a quitar las estructuras, los plásticos de cobertura y demás elementos para dejar el terreno preparado para el siguiente cultivo de fresa. Es frecuente que antes de quitar el acolchado negro se haga una siega de las plantas con el fin de facilitar esta operación [2].

2.1.3. CULTIVO SIN SUELO DE FRESA

En Huelva, desde los primeros años de implantación del cultivo de la fresa, en seco, se han ido introduciendo mejoras paulatinamente: sistemas de riego, acolchado con plástico negro, tunelillos y grandes túneles para facilitar las operaciones de cultivo y aumentar la producción. Hoy en día las nuevas técnicas se orientan a la introducción de cultivos sin suelo.

La necesidad de encontrar alternativas al bromuro de metilo, un desinfectante del suelo, ha actuado como catalizador para el desarrollo en Huelva del cultivo sin suelo:

*Debido a que el cultivo de fresa se repite año tras año (sin rotaciones) y teniendo en cuenta que las variedades son extremadamente sensibles a *Phytophthora spp*, *Verticillium spp*, etc., se hace indispensable la desinfección del suelo para controlar la acción negativa de los fitopatógenos edáficos, siendo el bromuro de metilo el producto más ampliamente utilizado hasta el 2005. Sin embargo, la asociación establecida entre el bromuro de metilo y su capacidad para degradar la capa de ozono, ha determinado su urgente eliminación [3, p. 206].*

La aplicación de la técnica del cultivo sin suelo en la fresa es un sistema relativamente barato, que permite elevadas producciones, mayores que las obtenidas con el método tradicional y proporciona un sustrato de cultivo libre de patógenos. No obstante, la producción de fresa sin suelo sigue siendo poco significativa, ocupando menos del 5% de la superficie cultivada en Huelva, en parte por los altos costes que hay que asumir el primer año de cultivo con este sistema.

En cualquier sistema de cultivo sin suelo, es necesario disponer de un contenedor y un sustrato de cultivo que servirá de soporte para las plantas, el cual puede

ser fibra de coco, lana de roca, turba, corteza de pino, cascarilla de arroz, corcho o mezclas entre otras alternativas. También es imprescindible un sistema de riego y fertilización que aportará el agua y los nutrientes necesarios al cultivo.



Ilustración 10.- Sistema de cultivo sin suelo de fresa

La forma más común de colocar los sacos de cultivo es colgando a una altura tal que se facilita su recolección, a 1,5 metros por encima del suelo. Se plantan entre 12 y 14 plantas por metro lineal, en dos filas por saco, con lo que se consiguen densidades de 130.000 plantas por hectárea, muy por encima de las 50.000 plantas por hectárea de cultivo en suelo. Bajo el saco se coloca una bandeja de drenaje que recoge la solución nutritiva sobrante en cada riego para evitar una posible contaminación del suelo [2].

El sistema de riego cuenta con un cabezal de riego desde el que se controla la cantidad de agua y fertilizantes a aportar utilizando un autómata de riego. Una red de tuberías reparte el agua por cada una de las líneas de cultivo mediante cintas de riego o mediante piquetas y goteros de riego localizadas en cada una de las plantas. Al existir un menor volumen de sustrato los riegos son más frecuentes, han de estar más controlados y el consumo final de agua suele ser menor [2].

El sistema de cubierta que se emplea es el mismo que para el cultivo sobre suelo, es decir, una estructura prefabricada de hierro cubierta de una lámina plástica atada con cuerdas. También se cuenta con micro aspersores, que se emplean en las primeras fases de cultivo o para realizar tratamientos fitosanitarios en el caso de ser necesarios.

En el sistema de cultivo sin suelo de fresa en Huelva se utilizan variedades de día corto. Al igual que en el cultivo convencional, la plantación se hace con plantas raíz desnuda obtenidas en viveros en altura. Se colocan de forma manual en los sacos de cultivo saturados de agua. La corona ha de quedar sobre el sustrato.

La recolección se realiza de forma manual, diferenciando aquellas que se destinan al consumo en fresco de las que se destinan para la industria. Se ha de destacar que al estar los sacos de cultivo a la altura de las manos de los recolectores esta actividad es más fácil y cómoda de realizar, con lo que los rendimientos por operario son mayores.

Como ventajas se pueden enumerar varias respecto al cultivo sobre suelo:

- Se consigue un mejor aprovechamiento del espacio.
- Se facilitan las tareas de cultivo, sobre todo la recolección.
- Se eliminan los problemas del suelo y las operaciones que hay que llevar a cabo sobre el mismo.
- Se consigue un mejor manejo del riego y de la fertilización, que se traduce en una reducción del consumo de agua y de nutrientes.
- Mayor calidad y homogeneidad de los frutos, reduciendo el número de deformados y sucios.
- Se consigue la reducción de los costes de mano de obra y mejor gestión de esta.

Y como inconvenientes:

- Este sistema requiere una inversión elevada que se ha de asumir el primer año.
- Necesidad de conocer más a fondo la fisiología de la planta y la calidad del agua de riego, para un correcto manejo del riego y de la solución nutritiva [2].

2.1.4. CULTIVO SIN SUELO DE FRESA EN INVERNADERO DE CRISTAL CON CONTROL CLIMÁTICO

En las últimas décadas se están buscando nuevas alternativas para ampliar los calendarios de producción de la fresa y evitar los problemas de suelo existentes en la zona de Huelva. Una de las opciones que se está poniendo en marcha es el cultivo de fresa protegido por invernadero de cristal con control climático, en sacos de sustrato sobre bandejas de drenaje, es decir cultivo sin suelo.

Para controlar el clima en el interior del invernadero se han instalado ventanas cenitales, pantallas térmicas y de sombreado, ventiladores y calefacción, todos ellos controlados mediante PLC, lo que permite que el cultivo no sufra las inclemencias del tiempo. Además, se cuenta con un sistema de nebulización y de microaspersores para aumentar la humedad ambiental cuando esta es muy baja, así como para regular la temperatura, sobre todo cuando es excesivamente alta [2].



Ilustración 11.- Cultivo sin suelo de fresa en invernadero

El sistema de riego cuenta con un cabezal de riego desde el que se controla la cantidad de agua y fertilizantes a aportar utilizando un autómata de riego. Este autómata se basa en las curvas de absorción de los nutrientes y las mediciones que se obtienen del gotero de control y en la bandeja de riego a la demanda instalados en cada uno de los sectores de riego.

Si se trata de un sistema cerrado o recirculado, la solución nutritiva sobrante se recoge en unos tanques y se recircula. El principal inconveniente de esta técnica es la posible transmisión de patógenos, por lo que es necesario desinfectar la solución antes de ser recirculada. La solución nutritiva recogida se trata mediante radiación ultravioleta, filtración a través de membranas y filtración lenta en lecho de arena. También es necesario corregir su composición y salinidad, preferiblemente de forma automatizada. Los sistemas cerrados reducen casi totalmente la contaminación ambiental, al tiempo que permiten obtener un ahorro de agua y fertilizantes de hasta un 30% y 40% respectivamente [3, pp. 208-211].

De momento este tipo de cultivo es muy minoritario, afectando a pocas decenas de hectáreas [2].

Por desgracia, no hemos podido acceder a la programación de ningún invernadero de fresa de la zona de Huelva, ni a los parámetros con los que se programan sus PLCs.

2.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La principal razón por la que la realización de este proyecto es la creciente necesidad de ahorro y optimización de recursos medioambientales en la agricultura. Cada día el agua dulce y el terreno necesarios para el cultivo de vegetales son más escasos, por ello es necesario aumentar la eficiencia con la que utilizamos estos recursos. Por otro lado, también es necesario disminuir y controlar el uso de fertilizantes y pesticidas, que tienen un gran impacto climático, mayor aún cuando se utilizan de forma poco cuidadosa.

La optimización de recursos con el fin de minimizar el daño causado a los ecosistemas de los que nos nutrimos no solo es una propuesta del ámbito científico, también es cada día más un clamor social.

También es motivación de este proyecto la necesidad de aumentar los beneficios de los agricultores, los cuales han visto en las últimas décadas como se desplomaban sus ingresos, llegando algunos a no cosechar sus explotaciones por no resultarles rentable.

3. FACTORES A CONSIDERAR

3.1. NORMATIVA

A la producción de plantas de fresa en viveros en altura aplica el Real Decreto 929/1995, modificado por el Real Decreto 744/2016, en transposición de la Directiva 92/34/CEE, modificada por la Directiva 2003/111/CE.

Al cultivo de plantas de fresa en los campos de fructificación en Huelva aplica el Reglamento Específico de Producción Integrada de Fresa, siendo el más reciente, y por tanto el vigente, el publicado el 9 de Julio de 2013 en el Boletín Oficial de la Junta de Andalucía.

3.2. PATENTES

Las patentes más relevantes del cultivo de fresa son las existentes sobre las diferentes variedades genéticas que se cultivan. Esto se debe, a que año tras año, se realiza un gran esfuerzo por parte de los programas de mejora genética de diferentes empresas con el fin de obtener nuevas variedades (y mejorar las existentes) adaptadas a la zona de cultivo, que cubran las necesidades de los productores, de los comercializadores y de los clientes.

Según publicaba 'El País' en 2017, el sector paga anualmente entre 12 y 13 millones de euros como canon por utilizar las diferentes variedades de fresa [4]. Tradicionalmente el sector ha sido muy dependiente de la innovación estadounidense (ya que el sistema de producción de fresa de Huelva es importado de California en los años 70), pero en los últimos años se ha trabajado por reducir esta dependencia.

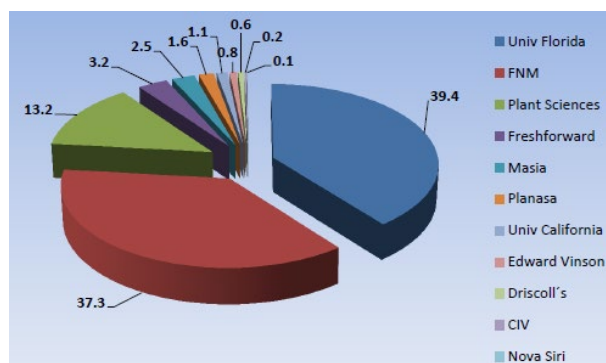


Ilustración 12.- Programas de mejora con influencia en Huelva

En la actualidad, más de la mitad de las variedades cultivadas en Huelva continúan siendo desarrolladas en Estados Unidos, aunque las variedades

desarrolladas en España son cada vez más relevantes. Concretamente, en la campaña 2018/2019, el programa de mejora genética de la Universidad de Florida ha sido el más presente en Huelva, ostentando la patente genética del 39,4% de las plantas cultivadas en esta zona (con una única variedad, 'Fortuna'). Le sigue muy de cerca el programa de mejora genética de Fresas Nuevos Materiales S.A (con sede en Huelva) que, con diferentes variedades, tiene una presencia del 37,2% en los campos onubenses [5].

3.3. CONDICIONES DEL ENCARGO

La condición primordial de este encargo es el cultivo de fresa durante su etapa de fructificación, en condiciones óptimas, mediante la aclimatación de un ambiente en interior. Por ello vamos a citar las necesidades de la fresa en esta etapa, para después proceder a realizar una tabla resumen.

La fresa, debido a su amplia gama varietal, se adapta bien a distintos tipos de clima: desde los trópicos hasta zonas heladas, entre los 0 y 1500 metros de altitud. Con menos 5 °C cesa la actividad vegetativa. Resiste temperaturas mínimas de -12 °C y máximas de 40 °C.

La mayor parte de las variedades necesitan un determinado número de horas-frío, por debajo de los 7 °C [6]. Si durante el invierno la planta acumula de 120 a 150 horas de frío, cuando las temperaturas aumenten y los días se alarguen (en torno a 12 horas de luz diarias), estará en disposición de florecer. La fluctuación de temperatura natural día / noche (26,7 / 15.6 °C) induce a la floración antes que con temperaturas poco variables, en torno a 21° C [7]. Temperaturas por debajo de 0 °C producen daños en las flores y problemas de polinización, dando lugar a frutos deformados.

El ambiente óptimo para la polinización se consigue con 20 °C y una humedad relativa en torno al 60%. Con temperaturas inferiores a 15 °C y humedad relativa superior al 70% pueden producirse frutos deformados consecuencia de una mala polinización. Para favorecer la polinización se pueden colocar colmenas, a razón de una por cada 1000 a 2000 metros cuadrados.

Los valores óptimos de fructificación también oscilan entre los 15 y 20 °C [8, p. 104]. Con temperaturas inferiores la maduración es muy lenta y temperaturas superiores producen desarrollo incompleto. Temperaturas excesivamente bajas, por debajo de 12

°C pueden repercutir en la producción de frutos deformes [6]. En cuanto a luz, necesitan 12 horas de luz diarias para tener buena productividad [9].

La fresa requiere suelos sueltos y bien drenados, suelos francos o franco-arenosos, para facilitar el desarrollo de las raíces. Prefiere suelos ácidos o subácidos, con pH comprendido entre 5 y 6,5, aunque se puede cultivar en cualquier tipo de suelo, siempre que el contenido en caliza no supere el 5%.

La planta de fresa posee un sistema radicular superficial, por lo que necesita riegos cortos y frecuentes para satisfacer sus necesidades hídricas. En función de la época y zona de cultivo, la fresa tiene unas necesidades anuales de agua comprendida entre 4.000 y 6.000 metros cúbicos por hectárea y año. Es imprescindible el riego en el momento de la plantación, durante la emisión de las inflorescencias y en las fases de maduración y recolección.

La fresa es muy sensible a la salinidad del suelo y del agua, la conductividad eléctrica no debe superar 1 dS/m [9].

Las necesidades un cultivo de fresas son de 4 kilogramos por tonelada de nitrógeno, 3,6 kilogramos por tonelada de fósforo y 5 kilogramos por tonelada de potasio. La dosis a aplicar de cada abono en cada momento del cultivo debe ajustarse a la curva de absorción de la variedad cultivada, de lo que se encarga el controlador del cabezal de riego [2].

| | Mínimo | Óptimo | Máximo |
|--|--------|----------------------------|--------|
| Temperatura extrema resistida (°C) | -12 | | 40 |
| Temperatura floración (°C) | 0 | Fluctuación 26,7 - 15.6 | |
| Temperatura polinización (°C) | 15 | 20 | |
| Temperatura fructificación (°C) | 12 | Entre 15 y 20 | |
| Horas de luz | | 12 | |
| Humedad relativa en el ambiente (%) | | 60 | 70 |
| Horas de frío previas (<7 °C) | 120 | Entre 120 y 150 | |

Tabla 1. - Necesidades climáticas fructificación de la fresa

| | | |
|-----------------------|--|--|
| Suelo | Textura | Franco / franco-arenosa |
| | Caliza (%) | < 5 |
| Agua y suelo | pH | Entre 5 y 6,5, preferiblemente ácido. |
| | Conductividad (dS/m) | < 1 |
| Riego | Entre 4.000 y 6.000 m ³ /ha*año, aplicado de forma corta y frecuente | |
| Fertilización (kg/Tm) | Nitrógeno: 4 Fósforo: 3,6 Potasio: 5 | |

Tabla 2. - Necesidades suelo y agua fructificación de la fresa

4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS

En este apartado ofreceremos soluciones alternativas para cada necesidad del cultivo o componentes necesarios para el correcto desarrollo de este. El único criterio preestablecido es que el cultivo será en interior, en un clima como en el que se encuentran los viveros en altura (el 90% situados en Segovia) entre los meses de octubre y mayo, cuando se lleva a cabo la fructificación de la fresa.

Se ofrecerán diversas soluciones para: tipo de cultivo, tipo de invernadero, sustrato, sistema de riego y fertilización, sistema de humidificación, calefacción, ventilación, iluminación, controlador, sistema de monitorización y diversos sensores. Posteriormente, se expondrán los criterios de selección y con estos se adoptará una solución concreta.

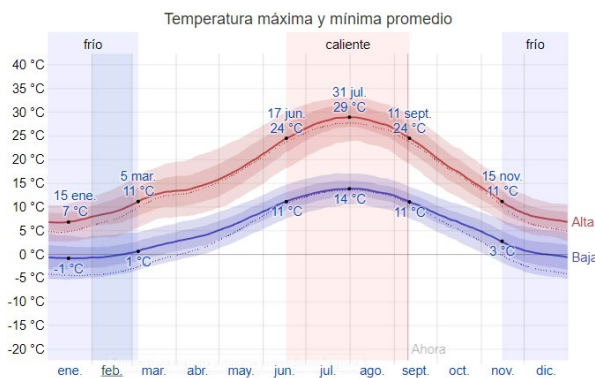


Ilustración 13.- Temperaturas máximas y mínimas medias Segovia

No se considera necesario la instalación de sistemas de refrigeración ni de deshumidificación dada la climatología de la zona en los meses de cultivo, fría y poco húmeda, con lo que, en caso de ser necesario, se utilizará el aire del exterior para realizar estas funciones.

Para poder realizar una correcta comparación, compararemos los costes de cada alternativa, por hectárea. Hipotéticamente, podemos consideramos que la hectárea es de 100 metros de ancho y 100 metros de largo.

4.1. SOLUCIONES ALTERNATIVAS

4.1.1. TIPO DE CULTIVO

CULTIVO CONVENCIONAL

En el cultivo convencional se utiliza plástico negro para cubrir los caballones de tierra donde se trasplantará la fresa. Consideramos 90 caballones de 100 metros de largo por hectárea para realizar los cálculos. Por las dimensiones de los caballones, es necesario que la cobertura mida de ancho, al menos, 1,4 metros.

El precio de este plástico, de dimensiones 1,5 m x 780 m x 150 gg (grosor gingival), es de 94,25 € [10]. Dado que necesitaríamos, al menos, 12 rollos como este para cubrir los 9.000 metros lineales de caballones, la factura total para una hectárea ascendería a 1.131 €. Hay que destacar que este plástico no se puede reutilizar, siendo desechado a final del cultivo.

Con este sistema se consigue una densidad de 60.000 plantas por hectárea aproximadamente.

CULTIVO SIN SUELO

En el cultivo sin suelo, actualmente se utiliza una estructura que sujeta los canales de PVC, donde se coloca el sustrato en el que se planta la fresa. En esta estructura se colocan varios canales de PVC, concretamente 7, optimizando así el espacio. Estos canales de PVC tienen en la parte baja un sistema de drenaje, que lleva el líquido al final del canal. Las dimensiones de esta estructura son 1,6 m de alto, 1,4 m de ancho y longitud variable. Si consideramos 2 metros de ancho por línea de cultivo (dejando así 0,6 metros entre líneas para que los operarios puedan circular y realizar las tareas necesarias), caben 50 líneas de 100 metros de largo por hectárea.



Ilustración 14.- Estructura y canales de PVC

El precio de esta estructura, incluyendo los canales de PVC, es de 3,57 €/metro [11]. Por tanto, el precio total para los 5.000 metros lineales es de 17.850 €. Hay que destacar que este sistema es completamente reutilizable, no necesitando ser sustituido entre cultivos, solo en caso de sufrir daños o roturas por golpes.

Con este sistema se consigue una densidad de 210.000 plantas por hectárea aproximadamente.

También consigue un mejor manejo del riego y de la fertilización, que se traduce en una reducción del consumo de agua y de nutrientes a la par que aumenta la calidad y la homogeneidad de los frutos.

4.1.2. INVERNADERO

Existen diferentes tipos de invernadero. Las principales diferencias son si son cerrados o no y el material de construcción, plástico o cristal. En este apartado compararemos tres tipos de invernadero: cubierta de túnel, invernadero tipo capilla e invernadero de cristal o tipo venlo.

CUBIERTA DE TÚNEL

Es el sistema utilizado típicamente en Huelva. Está formado por un plástico de polietileno, de 600 galgas de espesor y 8 metros de ancho, y la estructura, de perfiles metálicos tubulares galvanizados.

Este sistema no es estrictamente un invernadero, ya que no protege totalmente del clima exterior. Tan solo protege de los eventos más extremos (como lluvia, granizo o picos de temperatura, al crear un microclima ligeramente más suave que el exterior). La regulación de temperatura, humedad y otros parámetros se realiza levantando o cerrando la cubierta en los extremos.

Su sencillez tiene como consecuencia ser la opción más barata, de las alternativas comparadas. Su precio estimado es de 16 € / m² [12].

INVERNADERO PLÁSTICO TIPO CAPILLA

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

En los últimos años se estaba llevando a cabo la construcción de invernaderos de este tipo en Huelva, que supone la culminación de los sistemas de protección en la zona, utilizando como material de cubierta polietileno térmico transparente de 800 galgas [3, p. 180].

Destacan las siguientes ventajas: Es de fácil construcción y de fácil conservación. La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales. Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia. Permite la unión de varias naves en batería.

Su precio estimado es de $73,5 \text{ €} / \text{m}^2$ [12].

INVERNADERO DE CRISTAL TIPO VENLO

Este tipo de invernadero es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa. El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales.



Ilustración 15.- Invernadero de cristal tipo venlo

El cristal utilizado para la construcción de este tipo de invernaderos es su factor diferencial, ya que ofrece una buena estanqueidad que facilita una mejor climatización de los invernaderos. Pero también implica desventajas: la abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz y el uso de estos materiales tiene un elevado coste comparado con los invernaderos plásticos.

Esta buena estanqueidad es clave para este proyecto, ya que pretendemos mantener temperaturas de entre 15 y 20 °C, en un lugar y época del año en el que se alcanzan fácilmente temperaturas de 0 °C. La menor transmisión de luz se puede corregir con el uso de iluminación artificial.

Su precio estimado es de $94 \text{ €} / \text{m}^2$ [12].

4.1.3. SUSTRATOS

En este apartado, ya que la explicación de todas las diferencias entre los diferentes tipos de sustratos para el cultivo sin suelo conllevaría una extensión excesiva y no es necesaria para este proyecto, tan solo se mencionan las diferencias en cuanto a rendimiento del cultivo y precio del sustrato.

PERLITA

Tras años de ensayos, se ha obtenido un rendimiento entorno a los 50.000 kg/ha de fresa en cultivo sin suelo con perlita como sustrato [3, p. 210].

Su precio es de 5,99 € por 7 litros de sustrato, 0,86 € / L [13].

TURBA

Según estudios realizados por la Junta de Andalucía, el rendimiento de la turba como sustrato es de 56.000 kg/ha de fresa en cultivo sin suelo con turba como sustrato [3, p. 210].

Su precio es de 5,20 € por 20 litros de sustrato, 0,26 € / L [13].

FIBRA DE COCO

La fibra de coco es el sustrato que da un mejor rendimiento, según los estudios realizados por la Junta de Andalucía, con un rendimiento de 73.000 kg/ha de fresa en cultivo sin suelo [3, p. 210].

Su precio es de 11,90 € por 25 L de sustrato, 0,48 € / L [14].

4.1.4. CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego es desde donde se impulsa el agua hacia el sistema, además de incorporar elementos para filtrar, medir, comprobar la presión e incorporar los fertilizantes y tratamientos necesarios al agua de riego. Primero se instala un filtro de arena que retiene partículas orgánicas. Posteriormente, se colocan uno o varios filtros de mallas o de anillas, que se emplean para para eliminar impurezas, partículas, elementos en suspensión y partículas inorgánicas que pueden obstruir la red de riego

En el cabezal de riego se instala el equipo de fertirrigación, formado por varios tanques de fertilizantes, equipos de medida de pH y conductividad eléctrica y un tanque

de ácido para regular el pH de la solución nutritiva, conectados en paralelo a la red de distribución. Además, cuenta con válvulas e inyectores que incorporan la solución nutritiva en la red de riego, según las necesidades del cultivo. Todo ello regulado por un ordenador o autómatas donde se programa el riego de cada uno de los sectores de la finca.

La complejidad del cabezal de riego es muy elevada, dado que su correcto diseño implicaría conocimientos avanzados de mecánica de fluidos y de curvas de absorción de los nutrientes en la planta de fresa. Por ello se ha pedido presupuesto a diferentes empresas instaladoras de cabezales de riego, siendo la más opción económica y confiable Riegos Agrícolas S.L., con sede en Murcia, especializada en cultivo de fresa y con las certificaciones ISO 9001 Y ISO 14001.

Esta empresa nos ha proporcionado dos presupuestos, uno de un cabezal de riego básico, con sistema de propulsión de agua, elementos de medida, filtrado y control, pero sin sistema de fertirrigación, por 4.999 € incluida la instalación. El segundo presupuesto incluye, además de lo anterior, el sistema de fertirrigación, el autómatas de riego y la red de distribución, por 19.999 €.

4.1.5. FERTILIZANTE

Para la fertilización de nuestro cultivo de fresa utilizaremos fertilizantes líquidos, o solubles, para poder utilizarlos por fertirrigación. Comparamos fertilizantes solubles, ya que estos son una opción mucho más económica que los líquidos, por el gran volumen necesario para fertilizar una plantación durante todo el cultivo.

Los fertilizantes NPK tienen los 3 principales nutrientes que necesita un cultivo, nitrógeno, fósforo y potasio, en diferentes porcentajes, indicando las U.F. (kg de un nutriente concreto por cada 100kg de abono). Recordemos que nuestro cultivo requiere unas proporciones de fertilizante 4 - 3,6 - 5.

FERTILIZANTE SOLUBLE HAKAPHOS ROJO

Este fertilizante tiene una composición NPK 18 – 18 – 18, lo que quiere decir que tiene nitrógeno, fósforo y potasio a partes iguales. Por lo tanto, diluyéndolo podemos conseguir una fertilización de 4 – 4 – 4, la cual no es óptima, pero con la que probablemente nuestras plantas podrían desarrollarse.

Su precio es de 292,90 € por 150 kg [15].

FERTILIZANTE SOLUBLE HAKAPHOS ROJO + HAKAPHOS VERDE

El fertilizante Hakaphos Rojo se ha descrito en el apartado anterior. El Hakaphos Verde tiene una composición NPK de 15 – 10 – 15. Combinando ambos, a razón de dos tercios del fertilizante “Rojo” y un tercio del “Verde” y diluyéndolos, podemos obtener una fertilización equivalente de 4 – 3,6 – 4, la cual, sin ser tampoco óptima, es más aproximada a nuestras necesidades.

El precio del Hakaphos Verde es de 256,90 € por 150 kg [15], y el precio de nuestra mezcla de fertilizantes sería de 280,70 €, por 150 kg.

FERTILIZANTE SOLUBLE HAKAPHOS ROJO + NOVATEC SOLUB 9 – 0 – 43

El fertilizante Hakaphos Rojo se ha descrito en el primer apartado. El Novatec Solub 9 – 0 – 43 tiene la composición NPK que su nombre indica. Combinando ambos, a razón de 88% fertilizante “Rojo” y el 12% restante del fertilizante “9 – 0 – 43”, y diluyendo la mezcla resultante, obtenemos una fertilización 4 – 3,7 – 5, la cual tan solo difiere una décima en la concentración de fósforo del fertilizante óptimo para nuestro cultivo.

No hemos encontrado precio de venta del Novatec Solub 9 – 0 – 43 aunque se puede estimar que el precio será similar a los otros fertilizantes, quizás ligeramente superior. Dado el pequeño porcentaje que aporta a la mezcla, entendemos que el precio de la mezcla debe ser superior a la primera opción, pero no mucho, estimándolo en 300 € por 150 kg.

4.1.6. RIEGO LOCALIZADO

CINTA DE RIEGO



Ilustración 16.- Cinta de riego

Las cintas de riego son el sistema más utilizado para el riego localizado, dado su bajo coste. Las cintas de riego integran el tramo final de tubería y el surtidor de agua. Cabe destacar que las cintas de riego se desechan al finalizar el cultivo.

La cinta de riego seleccionada es de calidad profesional, 8 milésimas de pulgada de pared, goteros cada 20 cm y con un caudal por gotero de 1,5L/h. Se vende en bobinas de 2.600 metros, por 163,50 € [16] (0,0126 € por gotero).

GOTERO REGULABLE

Los goteros se pinchan en la tubería de riego. El gotero seleccionado es un gotero estándar regulable, con un caudal de entre 0 y 6 L/h. Se vende por 0,07 € la unidad [17].

PIQUETA GOTEADORA

Las piquetas goteadoras tienen un funcionamiento similar al de los goteros, se insertan en la tubería de riego. La mejor con respecto a los goteros regulables es que la piqueta goteadora se clava en el sustrato, impidiendo así que se desplace de posición.

La piqueta seleccionada tiene un caudal de 2,3 L/h, y su precio es de 0,11 € la unidad [18].

4.1.7. SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN

Las opciones para aumentar el nivel de humedad ambiental son, o bien microaspersores, o un sistema de nebulización de alta presión.

MICROASPERORES

Los microaspersores son, como su propio nombre indica, aspersores de pequeño tamaño. La principal ventaja, dejando el precio a un lado, con respecto a los sistemas de nebulización es que los microaspersores también se pueden utilizar para aplicar tratamientos fitosanitarios.

El caudal del modelo elegido es regulable entre 73 y 125 L/h, con un radio de riego de 1,7 metros y un ángulo de aspersión de 180°. Su precio es de 54,45 € por 100 unidades [16], suficientes para humedecer todo el cultivo.

SISTEMA DE NEBULIZACIÓN DE ALTA PRESIÓN

Los sistemas de nebulización son una solución para aumentar la humedad ambiental y reducir la temperatura, de un modo natural y ecológico, con mayor efectividad que los microaspersores, pero sin posibilidad de aplicar tratamientos fitosanitarios. El consumo de agua es muy inferior al de los microaspersores.

Su precio es elevado, 2 731,20 € [18] por el sistema completo con 50 boquillas de salida.

4.1.8. CALEFACCIÓN

Debido a la necesidad de mantener el invernadero por encima de los 15 °C para el correcto desarrollo de la planta de fresa, en un entorno en el que, durante la noche, se alcanzan temperaturas de 0 °C, se hace imprescindible instalar un sistema de calefacción suficiente para el volumen de nuestro invernadero.

CALEFACCIÓN PASIVA

El sistema consiste en la utilización de mangas llenas de agua caliente que, debido a la inercia térmica de las mismas, son capaces de absorber gran cantidad de energía en forma de radiación durante el día, calentando el agua en su interior, calor que es devuelto al invernadero durante la noche. En ensayos se han observado incrementos en los valores de temperatura ambiente que oscilan entre 0,5 y 2,2 grados centígrados, pudiendo alcanzarse incrementos de hasta 5 grados según literatura científica.

Su precio es muy barato, de unos 0,90 € por manga, siendo necesarias varios cientos para cubrir todo el cultivo. El coste total se calcula entorno a los 300 €.

CALEFACCIÓN CON GENERADORES DE AIRE CALIENTE

Es un sistema recomendado en localizaciones con temperaturas mínimas exteriores suaves, con cultivos que presentan una temperatura mínima óptima no muy exigente, o en proyectos donde se pretende acometer una mejora en la explotación en términos de mayor precocidad y productividad del cultivo en fechas frías con un grado de tecnificación medio, por lo que no es muy adecuado para este proyecto. Este sistema tiene poca inercia térmica, calentando rápido al encenderlo y descendiendo la temperatura rápidamente al apagarlo [19].

Un adecuado número y disposición de los generadores, junto con un adecuado caudal de aire y dardo de alcance de los ventiladores, permite una distribución adecuada del aire caliente en todo el volumen del invernadero.

Los más empleados son los generadores por combustión indirecta; estos aparatos funcionan con gasóleo o gas y están dotados de un intercambiador de calor dentro del cual se separan los residuos de la combustión para llevarlos hacia el exterior, en la parte exterior del intercambiador un flujo de aire limpio es calentado e impulsado al interior del invernadero, aunque en este proyecto, por cuestiones medioambientales se ha elegido un modelo eléctrico.

En este caso, serían necesarios entorno a unos 440 kW de calefactores eléctricos para calentar el invernadero. El calefactor que hemos elegido es el TROTEC TDS 100, con 22 kW de potencia máxima, a un precio de 219,95 € [16]. Por tanto, necesitaríamos 20 calefactores de este tipo, con un precio total de 4.399 €.

CALEFACCIÓN POR AGUA CALIENTE

Son recomendados en localizaciones con temperaturas mínimas exteriores bajas, donde se precisan diferenciales de temperatura entre el interior y el exterior elevados; con cultivos que presentan una temperatura mínima óptima exigente; y en proyectos donde se pretende llevar a cabo la explotación con una elevada productividad y un grado de tecnificación elevado. La inercia térmica es alta, ya que para empezar a emitir calor debe calentar el agua [19].

Se caracterizan por disponer de un centro de producción del calor, varios generadores cubren la demanda (es necesario más de un generador para que el sistema siga funcionando en caso de avería de este), y de distintas redes que transportan el calor demandado a los diferentes sectores. Las tuberías de agua caliente se sitúan a cierta altura del suelo (20 – 30 cm), para evitar que el calor sea absorbido para el suelo.

Los generadores empleados, calderas de agua caliente normalmente (por combustión de biomasa, gas o gasóleo), cuentan con distinta tecnología y diseño, en función de su mayor o menor potencia y rendimiento. Para nuestro cultivo proyectamos una caldera eléctrica y otra de combustión de gasóleo, con el fin de utilizar en condiciones normales la caldera eléctrica, menos contaminante, pero a la vez disponer de la caldera de gasóleo en caso de emergencia, como cortes eléctricos prolongados.



Ilustración 17.- Calderas calefacción por agua

El precio total de la instalación de calefacción por agua caliente, según el presupuesto proporcionado por Novedades Agrícolas S.A., asciende a 36.000 €.

4.1.9. VENTILACIÓN

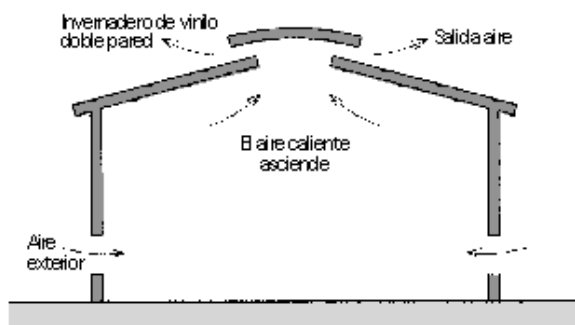


Ilustración 18.- Ventilación invernadero

La ventilación es necesaria en cualquier invernadero, para evitar el ambiente viciado y la contaminación del clima interior. Independientemente de la solución elegida, es necesario instalar en el invernadero ventanas cenitales, mecanizadas con motores eléctricos, en la parte superior y en los laterales (no necesariamente mecanizadas). El aire fresco entrará por los laterales y saldrá por la parte superior.

Las entradas de aire se protegerán, hacia el exterior con rejillas antipájaros o roedores. Hacia el interior se dispondrán deflectores en caso que el aire exterior entrante incida directamente sobre las plantas próximas.

VENTILACIÓN NATURAL

La ventilación natural se basa en que el aire caliente interior del invernadero asciende y sale por las ventanas en el techo, entrando por los laterales en la parte baja. Se establecen unas corrientes de aire que ventilan el espacio cubierto. El montante de la ventilación lograda por este sistema depende del gradiente de temperatura interior-exterior, de la intensidad y dirección del viento y de la construcción del invernadero [19].

VENTILACIÓN MECÁNICA

La ventilación mecánica consiste en renovar el aire con la instalación de extractores electromecánicos colocados en la parte alta de un lateral del invernadero. Las entradas de aire exterior se disponen por la parte baja de la pared opuesta a la de los ventiladores o por ambas si la descarga es central.

Los extractores se distribuirán a lo largo de la nave, en la cubierta o un lateral, distanciados 10 metros uno de otro. La conexión eléctrica de los ventiladores se hará a través de reguladores de velocidad que permitirán obtener regímenes de ventilación distintos de acuerdo a las necesidades.

El extractor elegido es el VHP 80 T4 1CV (0,75KW), con un caudal de 32.500 m^3/h . Su precio es de 571,12 € [16], por lo que el precio total, instalando nueve extractores en nuestro invernadero ascendería a 5.140,08 €, sin contar los variadores.

4.1.10. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Dado que se pretende cultivar durante el invierno, en una latitud mayor que la de Huelva y la fresa necesita 12 horas diarias de iluminación, es necesario diseñar una iluminación auxiliar. Esta no puede ser de cualquier tipo, dado que solo las *grow lights*, las luces que imitan la luz solar, sirven para proporcionar a plantas la energía luminosa necesaria para realizar la fotosíntesis.

ILUMINACIÓN LED

La primera opción es la iluminación LED, la cual es más eficiente (genera más LUX con un menor consumo energético) y tiene mayor vida útil (entorno a las 50.000 h) que cualquier otro tipo de iluminación. Cabe destacar que en las lámparas LED para cultivo la potencia nominal difiere de la consumida, dado que las lámparas trabajan aproximadamente a la mitad de su potencia nominal con el fin de aumentar la eficiencia energética.



Ilustración 19.- Lámpara LED CF-UT01

La lámpara LED elegida es el modelo CF-UT01, con una potencia consumida de 50,55 W, espectro de onda completo y un precio de 27,52 € [15]. Colocando las lámparas separadas entre si un metro, necesitaríamos aproximadamente 5.000, con un coste total de 137.600 €.

ILUMINACIÓN LEC

La segunda opción es la iluminación LEC, una tecnología para el cultivo interior relativamente novedosa. Con ella se consiguen rendimientos similares a las antiguas bombillas de sodio, con menos consumo y menos calor, ya que son más eficientes que estas, pero no tanto como la iluminación LED. El espectro de onda con esta tecnología es completo (es decir, imita la luz solar).

La lámpara LEC elegida es un kit de iluminación LEC compuesto por reflector, portalámparas, balastro LEC 315 W Solux Ultrón y bombilla Osram Hci-t 150w 830 G12. La bombilla tiene una potencia nominal de 150 W y una vida útil de 12.000 h. El precio total del kit es de 104,38 €.

Colocando una lámpara cada metro, necesitaríamos aproximadamente 5.000, con un coste total de 521.900 €.

4.1.11. SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

Para poder controlar la temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero es necesario poder medirlas. Para ello utilizaremos un termohigrómetro, un instrumento que mide ambos parámetros. Necesitaremos al menos 5 termohigrómetros, repartidos por el invernadero para no dejar puntos ciegos en los que la temperatura pueda ser muy diferente a la medida.

TERMOHIGRÓMETRO CAREL DPWC111000

El termohigrómetro Carel DRPWC111000 tiene las siguientes especificaciones: tensión de alimentación de 9 a 30 Vdc o de 12 a 24 Vca, precisión en la medida de humedad de $\pm 3\%$ a 25 °C en el rango 10-90% HR. La salida es, por un lado 4-20 mA o 10 mV / %HR, configurable, y por otro 4-20 mA o 10 mV/°C, también configurable.

El precio es de 121,89 € sin IVA [20], es decir, 147,49 € con IVA. El precio total por 5 dispositivos sería de 737,45 €.

TERMOHIGRÓMETRO CAREL DPWC110000

Las especificaciones son las mismas.

El precio es de 176,47 € sin IVA [20], 213,53 € con IVA. El precio total asciende a 1067,65 €.

4.1.12. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Para controlar y coordinar todos los elementos del sistema es necesario un autómatas lógico programable. Elegimos la gama S7-1200, enfocada en tareas de automatización sencillas, pero de alta precisión, dado que es la que mejor se ajusta a este proyecto en términos de calidad / precio.

Dado que necesitaremos usar un PID con salida PWM, tendremos que utilizar un PLC tipo DC/DC/DC (alimentación DC, entradas DC, salidas DC), porque este tipo tiene salidas a transistor de alta frecuencia. Por ello, tendremos que alimentar el PLC con una fuente de alimentación 230 VAC / 24 VDC. Elegimos la fuente de alimentación conmutada PHOENIX 2868664 [21], con una salida de 24 V y 4,2 A de intensidad máxima.

SIEMENS CPU 1212C

Este modelo de PLC Siemens tiene 8 entradas digitales, 6 salidas digitales y 2 entradas analógicas. No tiene salidas analógicas. Su precio es de 209,00 € más IVA [21], 252,89 €.

SIEMENS CPU 1215C

Este modelo de PLC, también fabricado por Siemens, tiene 14 entradas digitales, 10 salidas digitales, 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas (ambas configurables en tensión o intensidad). También cuenta con dos puertos de PROFIBUS.

Su precio es de 575,72 € [21].

SIEMENS CPU 1215C CON MÓDULO SIEMENS SM 1231 AI

El módulo de señal Siemens SM 1231 AI ofrece la posibilidad de aumentar el número de entradas analógicas en 8, configurables en intensidad o tensión. Su precio es de 372,08 € [21]. El precio del conjunto de PLC Siemens 1215C y el módulo Siemens SM 1231 es de 947,80 €.

4.1.13. PANTALLA HMI

Para poder consultar datos del sistema e interactuar con el PLC utilizaremos una pantalla HMI táctil.

PANEL HMI SIEMENS KTP700 BASIC PN

La primera opción es la pantalla HMI Siemens KTP700 Basic PN, de 7", táctil y con botones físicos. Es una de las pantallas más baratas de Siemens, con un panel de un tamaño aceptable. Su precio es de 680,02 € [21].

PANEL HMI SIMATIC COMFORT SIEMENS TP1200

La segunda opción es la pantalla HMI SIMATIC Comfort Siemens TP1200, con 12" de panel y un reconocimiento táctil de mayor calidad. Su precio es de 2.722,50 € [21].



Ilustración 20.- HMI SIMATIC Comfort Siemens TP1200

4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Los criterios de selección para cada uno de los diferentes componentes del proyecto se listan a continuación. Se realizará la selección en forma de tabla.

Se puntuarán los diferentes factores que influyen en la decisión del 1 al 5, siendo el 1 la puntuación más negativa y 5 la más positiva. La ponderación de los diferentes factores se llevará a cabo aplicando coeficientes de relevancia, aumentando así el peso en la decisión de los factores más relevantes. Algunos factores, que se consideran imprescindibles, tendrán una ponderación binaria, 'Cumple' (C) o 'No Cumple' (N), de forma que solo serán admisibles aquellos que sean puntuados positivamente. Finalmente, se elegirá la alternativa con mejor puntuación.

4.2.1. TIPO DE CULTIVO

Los factores relevantes del tipo de cultivo son:

Primero y más importante, la densidad de planta de fresa por hectárea, que repercutirá directamente en la producción anual. Ponderamos este factor con un coeficiente de relevancia de 3. El cultivo convencional, soporta aproximadamente 60.000 plantas por hectárea, y el cultivo sin suelo 210.000, 3,5 veces más. Por ello, puntuamos el cultivo convencional con un 1 y el cultivo sin suelo con un 5.

El segundo factor es el coste del material en 10 años. Ponderamos este factor con un coeficiente de relevancia de 2. El cultivo convencional tiene unos costes anuales en compra de cobertura plástica de 1.131 €, 11.310€ en 10 años. El cultivo sin suelo tiene unos costes en canalones de PVC (y su estructura de soporte) de 17.850 €, los cuales suponemos que duraran 10 años de media. Por ello, puntuamos el cultivo convencional con un 4 y el cultivo sin suelo con un 2.

El tercer factor es el impacto medioambiental. Consideramos impacto medioambiental el coste que tiene cada solución para el ecosistema, en el sentido de afectar a este negativamente. En este caso, la principal huella en el ecosistema es provocada por los plásticos desechables del cultivo convencional, aunque el cultivo sin suelo no está exento de huella, ya que el PVC es más duradero, pero eventualmente también será desechado. Puntuamos el cultivo convencional con un 1, y el sin suelo con un 4.

| | Ponderación | Convencional | Sin suelo |
|------------------------|-------------|--------------|-----------|
| Densidad | 3 | 1 | 5 |
| Coste material 10 años | 2 | 4 | 2 |
| Impacto medioambiental | 1 | 1 | 4 |
| Total | | 10 | 23 |

Tabla 3.- Selección tipo cultivo

Seleccionamos el **cultivo sin suelo** para nuestro sistema de cultivo de fresa en interior.

4.2.2. INVERNADERO

Los factores relevantes en cuanto a invernaderos son:

El más relevante es la estanqueidad del invernadero, dado que la capacidad de mantener un gran diferencial de temperatura con el exterior es imprescindible en este proyecto. De las tres opciones, cobertura tipo túnel, invernadero plástico tipo capilla e invernadero de cristal tipo venlo, la tercera es la única que cumple esta condición.

El segundo factor relevante es el precio del invernadero por metro cuadrado, pero se ve eclipsado por el primer factor.

| | Ponderación | Túnel | Plástico | Cristal |
|------------------|-------------|-------|----------|---------|
| Estanqueidad | Necesario | N | N | C |
| Precio por m^2 | 2 | 5 | 2 | 1 |
| Total | | 0 | 0 | 2 |

Tabla 4.- Selección invernadero

Seleccionamos el **invernadero de cristal tipo venlo**, por ser el único que capaz de mantener grandes diferenciales de temperaturas con el exterior.

4.2.3. SUSTRATOS

Los factores relevantes para la selección de sustrato son:

El rendimiento en cuanto a producción de fresa por hectárea, el cual ponderaremos con un coeficiente de 3, ya que es lo más importante a la hora de elegir sustrato. Las dos primeras opciones, perlita y turba, tienen un rendimiento en torno a 50.000 kg/ha, y la fibra de coco, de 73.000 kg/ha.

El precio por litro de sustrato, menos relevante, con un coeficiente de 1, dado el bajo precio de los sustratos en comparación con otros componentes del sistema.

| | Ponderación | Perlita | Turba | Fibra de coco |
|--------------|-------------|---------|-------|---------------|
| Rendimiento | 3 | 2 | 2 | 4 |
| Precio por L | 1 | 1 | 5 | 3 |
| Total | | 7 | 11 | 15 |

Tabla 5.- Selección sustrato

Seleccionamos la **fibra de coco** como sustrato, dado la diferencia notable con otros sustratos en cuanto a producción.

4.2.4. CABEZAL DE RIEGO

Se ha seleccionado el cabezal de riego con sistema de propulsión de agua, elementos de medida, filtrado y control, además de sistema de fertirrigación, el autómata de riego y la red de distribución, presupuestado por 19.999 € por Riegos Agrícolas S.L.

4.2.5. FERTILIZANTE

Los factores relevantes para la selección de fertilizantes son:

La diferencia acumulada entre la composición NPK ideal del fertilizante para las necesidades de la fresa y la composición de cada opción, siendo esta diferencia de 1,4 puntos para el fertilizante Hakaphos Rojo, de 1 punto para la combinación de Hakaphos Rojo + Verde y de 0,1 puntos para la combinación de Hakaphos Rojo y Novatec Solub 9 – 0 – 43. Damos mucha importancia a este factor, una ponderación de 3, ya que la correcta fertilización es uno de los factores más relevantes para el desarrollo de la planta.

El segundo factor es el precio del fertilizante, aunque las diferencias entre las opciones son mínimas en este sentido. Lo ponderamos con un coeficiente de 2, dado que por la gran cantidad de fertilizante que se utilizará, mínimas diferencias repercutirán sensiblemente en los costes variables del sistema.

| | Ponderación | Hakaphos Rojo | Hakaphos Rojo + Verde | Hakaphos Rojo + Novatec Solub |
|------------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|
| Diferencia composición | 3 | 1 | 2 | 5 |
| Precio por kg | 1 | 4 | 5 | 3 |
| Total | | 7 | 11 | 18 |

Tabla 6.- Selección fertilizante

Seleccionamos el fertilizante elaborado mediante la mezcla de **Hakaphos Rojo y Novatec Solub 9 – 0 – 43**, dado que es el que mejor se ajusta a las necesidades del cultivo.

4.2.6. RIEGO LOCALIZADO

Los factores relevantes para la selección del sistema de riego localizado son:

La capacidad de localizar el riego, es decir, aplicarlo en un punto concreto y sin desplazarse. Ponderamos este factor con un coeficiente de 3, dado que esta capacidad de localizar el riego de forma concreta tiene como consecuencia la mejora de la calidad del cultivo y la reducción del gasto en agua y fertilizantes.

El precio del sistema de riego, ponderado con un coeficiente de 2, dado que al necesitar gran cantidad de puntos de riego hace que las diferencias de coste por gotero sean notables.

El impacto medioambiental, no despreciable dado el creciente problema a nivel mundial con la contaminación plástica, provocada por los elementos desechables fabricados en este material, ponderado con un coeficiente de 1. La puntuación más negativa la recibirán las cintas de riego, dado que se desechan al terminar cada campaña, mientras que las otras opciones pueden mantenerse varios cultivos.

| | Ponderación | Cinta de riego | Gotero regulable | Piqueta goteadora |
|-------------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|
| Localizar riego | 3 | 1 | 3 | 5 |
| Precio por gotero | 2 | 5 | 3 | 3 |
| Impacto ambiental | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Total | | 14 | 18 | 24 |

Tabla 7.- Selección de riego

Seleccionamos la **piqueta de riego**, principalmente por su capacidad de proporcionar el riego de forma localizada sin desplazarse.

4.2.7. SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN

Los factores a considerar para la selección del sistema de humidificación son:

La capacidad de aplicar tratamientos fitosanitarios, imprescindible en este proyecto ya que no se cuenta con otra forma de aplicarlos.

La eficiencia a la hora de aumentar la humedad ambiental en función del consumo de agua, ponderada con un coeficiente de 2.

El precio del sistema, ponderado con un coeficiente de 1, dado el poco impacto en los costes totales del proyecto.

| | Ponderación | Microaspersores | Nebulización |
|---------------|-------------|-----------------|--------------|
| Fitosanitario | Necesario | C | N |
| Eficiencia | 2 | 2 | 4 |
| Precio | 1 | 5 | 1 |
| Total | | 9 | 0 |

Tabla 8.- Selección sistema de humidificación

Seleccionamos los **microaspersores**, principalmente por su capacidad de aplicar tratamientos fitosanitarios, aunque también es una opción mucho más económica que el sistema de nebulización.

4.2.8. CALEFACCIÓN

Los factores a considerar en cuanto a la calefacción del invernadero son:

La capacidad de mantener diferenciales elevados de temperatura con el exterior, imprescindible en este proyecto.

El precio del sistema, ponderado con un coeficiente de 1, dado que es un coste que solo se tendrá que asumir una vez.

El impacto climático provocado principalmente por la quema de combustible para producir calor, ponderado con un coeficiente de 1.

| | Ponderación | Pasiva | Generadores aire caliente | Agua caliente |
|---|-------------|--------|------------------------------|------------------|
| Capacidad mantener diferencial temperatura | Necesario | N | N | C |
| Precio | 1 | 5 | 4 | 1 |
| Impacto ambiental | 1 | 5 | 3 | 2 |
| Total | | 0 | 0 | 3 |

Tabla 9.- Selección calefacción

Seleccionamos la **calefacción por agua caliente**, principalmente porque es el único sistema que puede alcanzar y mantener las especificaciones del sistema.

4.2.9. VENTILACIÓN

Los factores a considerar en cuanto a la ventilación son:

La capacidad de ventilación, ponderada con un coeficiente de 2.

El precio, ponderado con un coeficiente de 1, dado el poco impacto sobre el presupuesto final.

| | Ponderación | Natural | Forzada |
|-----------|-------------|---------|---------|
| Capacidad | 2 | 2 | 4 |
| Precio | 1 | 5 | 2 |
| Total | | 9 | 10 |

Tabla 10.- Selección de ventilación

Seleccionamos la **ventilación forzada**, dado que ha obtenido una puntuación ligeramente superior en la evaluación de alternativas.

4.2.10. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Los principales factores a considerar para la selección de la iluminación artificial son:

El espectro luminoso, es decir, que espectro de onda abarca la luz emitida por la iluminación. Es imprescindible que sea de espectro de onda completo, o *grow light*, dado que estas imitan la luz solar y las más efectivas a la hora de proporcionar a las plantas lo necesario para realizar la fotosíntesis.

El consumo eléctrico, ponderado con un coeficiente de 3, ya que al estar las lámparas encendidas 12 horas diarias, y tener miles de ellas, las diferencias de consumo son muy notables en los costes variables del sistema.

El precio, ponderado también con un coeficiente de 2, ya que se han de colocar varios miles de lámparas y las diferencias de precio serán muy notables en los costes fijos.

La vida útil, dado que la sustitución de lámparas puede ser muy costoso, por el mismo motivo que los párrafos anteriores. Ponderamos este factor con un coeficiente de 1.

| | Ponderación | LED | LEC |
|-------------------|-------------|-----|-----|
| <i>Grow light</i> | Necesario | C | C |
| Consumo | 3 | 5 | 2 |
| Precio | 2 | 5 | 1 |
| Vida útil | 1 | 5 | 1 |
| Total | | 30 | 9 |

Tabla 11.- Selección iluminación artificial

Seleccionamos la **iluminación LED**, ya que es superior en todos los factores.

4.2.11. SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA

El único factor que evaluaremos para la selección del termohigrómetro será el precio, dado que las alternativas son idénticas en los demás factores.

| | Ponderación | DPWC111000 | DPWC110000 |
|--------|-------------|------------|------------|
| Precio | 1 | 5 | 4 |
| Total | | 5 | 4 |

Tabla 12.- Selección termohigrómetro

Seleccionamos el **termohigrómetro Carel DRPWC111000** por tener un precio más bajo.

4.2.12. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Los factores a considerar para la selección del PLC son:

Si tiene o no 10 entradas analógicas, imprescindibles para poder conectar todos los higrómetros al PLC.

El precio, con una ponderación de 1, dado el poco impacto del precio del PLC en el precio total del sistema.

| | Ponderación | 1212C | 1215C | 1215C + SM 1231 AI |
|------------------------|-------------|-------|-------|-----------------------|
| 10 entradas analógicas | Necesario | N | N | C |
| Precio | 1 | 5 | 3 | 2 |
| Total | | 0 | 0 | 2 |

Tabla 13.- Selección automática

El controlador seleccionado es el conjunto de la **CPU Siemens 1215C con el módulo SIEMENS SM 1231 AI**.

4.2.13. PANTALLA HMI

Los factores a considerar para la selección de la pantalla HMI son las pulgadas y el precio. Dado que solo tendremos una pantalla HMI en todo el sistema, es preferible invertir más y tener una pantalla HMI de mayor calidad, con más funcionalidades y de mayor tamaño, en detrimento el precio. Por ello ponderamos en primer factor con 3, y el segundo con 1.

| | Ponderación | KTP700 Basic PN | Comfort Siemens TP1200 |
|---------|-------------|--------------------|---------------------------|
| Calidad | 3 | 2 | 5 |
| Precio | 1 | 5 | 2 |
| Total | | 11 | 17 |

Tabla 14.- Selección pantalla HMI

Seleccionamos el **panel HMI Simatic Comfort Siemens TP1200**, principalmente por tener más pulgadas que la alternativa.

5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1. SISTEMA Y SUBSISTEMAS

El sistema diseñado para el cultivo automático de la planta de fresa en interior en la etapa de fructificación cuenta con los siguientes subsistemas:

- Automatización
- Cultivo
- Riego

El subsistema de automatización se encarga de monitorizar y controlar los principales parámetros del cultivo, utilizando sensores para medir el estado del sistema y actuadores para modificar las condiciones ambientales y accionar el riego. Se procesan las acciones a llevar a cabo en el PLC, pudiendo consultar el estado del sistema en la pantalla HMI.

El subsistema de cultivo esta integrado por el invernadero, el soporte y el sustrato para el cultivo sin suelo. Este subsistema es independiente de la automatización del sistema, es decir, sería idéntico para un cultivo sin suelo de fresa en interior que no estuviera automatizado.

El subsistema de riego esta integrado por el cabezal de riego y la red de distribución, además del sistema de fertilización, incluido en el cabezal de riego dado que se lleva a cabo por fertirrigación, algo necesario de por si en el cultivo sin suelo, además de idóneo para llevar a cabo la automatización del sistema.

5.2. DESPIECE

A continuación, listaremos los conjuntos de los que están formados los subsistemas, explicándolos brevemente.

5.2.1. AUTOMATIZACIÓN

El subsistema de automatización está compuesto por los conjuntos de computación, control de temperatura, control de humedad ambiental y control de iluminación artificial.

COMPUTACIÓN

El conjunto de computación está compuesto por el computador como elemento principal y la pantalla HMI como elemento auxiliar, mediante el cual los operarios pueden interactuar con el PLC, y por tanto con la automatización del sistema.

El computador está formado por la CPU Siemens S7-1215C con el módulo SIEMENS SM 1231 AI, el cual se conecta mediante PROFINET al PC para ser programado. Cuenta con 14 entradas y 10 salidas digitales, además de 2 entradas y 2 salidas analógicas. Las entradas analógicas ascienden a 10 al conectar el módulo de señal

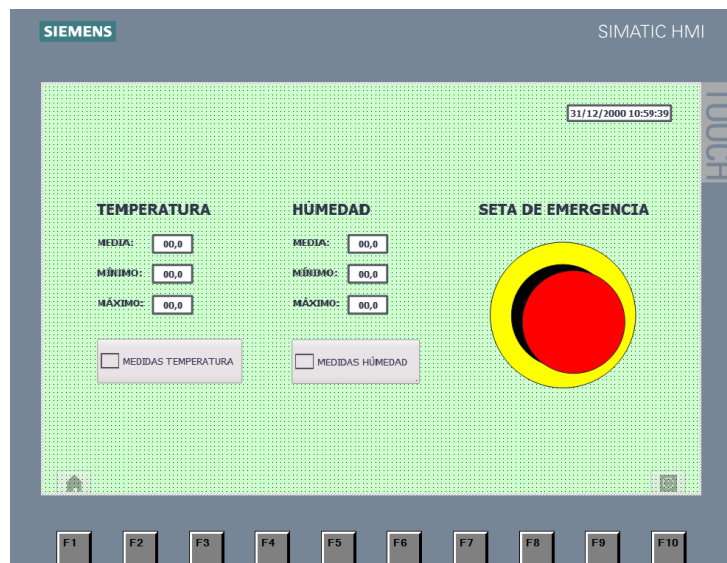


Ilustración 21.- Pantalla principal panel HMI

1231 AI. Es este computador el encargado de gestionar las entradas y salidas, realizando los cálculos necesarios en cada momento.

La pantalla HMI es el elemento interactivo del conjunto de computación, mediante el cual se puede activar la seta de emergencia (que detiene todos los actuadores), consultar el estado del sistema y modificar el estado de los actuadores.

CONTROL DE TEMPERATURA

El conjunto de control de temperatura está formado por la calefacción por agua (formada a su vez por las calderas, red de tuberías, etc.) y los sensores de temperatura integrados en los termohigrómetros.

Existen 5 termohigrómetros distribuidos en el invernadero, 4 próximos a cada esquina y 1 en el centro. Están alimentados directamente por la salida digital del PLC, y envían la señal de medida a las entradas analógicas de este. El controlador calcula la temperatura media y las temperaturas mínima y máxima medidas.

Con estos datos el PLC regula mediante un PID digital la calefacción, enviando una señal de salida PWM a un relé de estado sólido que, a su vez, en función de la señal recibida, regula la potencia aportada a la caldera eléctrica.

Esta caldera eléctrica calienta el agua que se distribuye por toda la planta, controlando así la temperatura dentro del invernadero.

CONTROL DE HUMEDAD AMBIENTAL

El conjunto de control de humedad ambiental está formado por los microaspersores, las ventanas (con sus respectivos motores), los extractores y los sensores de humedad relativa integrados en los termohigrómetros.

La señal medida por estos sensores es enviada a las entradas analógicas del PLC, donde este calcula la humedad media, y las humedades mínima y máxima medidas.

Con estos datos el PLC regula la humedad ambiental, encendiendo los microaspersores, cuando esta baja del mínimo del rango de humedad óptimo, y abriendo ventanas y encendiendo los extractores cuando la humedad relativa supera el máximo del rango óptimo.

Los microaspersores se controlan mediante una señal digital enviada por el PLC, de 24 voltios, que activa un contactor que a su vez alimenta o corta la alimentación de dichos aspersores.

Las ventanas se abren y cierran mediante un motor eléctrico conectado a un variador, el cual se activa mediante una señal digital enviada por el PLC. Las ventanas cuentan con finales de carrera en la posición máxima y mínima de abertura, que

detienen el motor al llegar a estas. Los extractores también se controlan mediante un variador que se activa al recibir una señal digital del PLC.

CONTROL ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El conjunto de iluminación artificial esta formado por todas las lámparas LED situadas sobre las plantas.

El control de la iluminación artificial es más sencillo que el de los otros parámetros, ya que simplemente se ha fijado un rango de horas, 12 concretamente, en el que la luz esta encendida, y por tanto apagada las otras 12.

Para realizar este control el PLC envía una señal digital a un contactor, que a su vez abre la alimentación de las lámparas led.

5.2.2. CULTIVO

El subsistema de cultivo está compuesto por el invernadero y el conjunto de cultivo sin suelo, formado a su vez por los canales de PVC, estructuras en los que se situaran estos y el sustrato.

INVERNADERO

Como se justifica en el apartado 4.2.2, se ha seleccionado un invernadero de cristal tipo venlo, dada la necesidad de mantener un alto diferencial de temperatura con el exterior. Este invernadero será de menor altura de la convencional, en los utilizados por ejemplo para el cultivo de tomate, ya que la planta de fresa es de poco porte, y una altura elevada implicaría un volumen de aire mayor en el interior, con las respectivas consecuencias en los costes de control de la temperatura y humedad, sin ningún punto positivo.

CULTIVO SIN SUELO

El conjunto de cultivo sin suelo esta formado por los canales de PVC, que serán el recipiente (o maceta) en el que situaremos nuestro sustrato; la estructura que sujeta dichos canales, en forma de pirámide con 4 alturas diferentes y 7 canales en total por soporte; y el sustrato, en este caso fibra de coco, por su elevado rendimiento.

5.2.3. RIEGO

El subsistema de riego esta formado por el conjunto del cabezal de riego y el conjunto de distribución.

CABEZAL DE RIEGO

El conjunto del cabezal de riego desde el que se controla la cantidad de agua que se aporta, además de incorporar elementos para filtrar, medir, comprobar la presión e incorporar los fertilizantes y tratamientos necesarios al agua de riego.

Primero se instala un filtro de arena que retiene partículas orgánicas. Posteriormente, se colocan uno o varios filtros de mallas o de anillas, que se emplean para para eliminar impurezas, partículas, elementos en suspensión y partículas inorgánicas que pueden obstruir la red de riego



Ilustración 22.- Cabezal de riego

En el cabezal de riego se instala el equipo de fertirrigación, formado por varios tanques de fertilizantes, equipos de medida de pH y conductividad eléctrica y un tanque de ácido para regular el pH de la solución nutritiva, conectados en paralelo a la red de distribución. Además, cuenta con

válvulas e inyectores que incorporan la solución nutritiva en la red de riego, según las necesidades del cultivo. Todo ello regulado por un autómata de riego donde se programa el riego de cada uno de los sectores de la finca.

El riego se produce al recibir el autómata de riego una señal digital desde el PLC principal.

DISTRIBUCIÓN

El conjunto de distribución está formado por redes primaria, secundaria y terciaria de tuberías que desembocan en las piquetas goteadoras, aportando el agua en el punto exacto en el que es necesario, optimizando el uso del agua y los fertilizantes.

6. PROGRAMACIÓN

6.1. BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas de la programación del PLC son las listadas en la Tabla 1 del apartado 3.3, a excepción del programa de riego, que se explica a continuación.

Basándonos en las necesidades hídricas de la fresa, que son de entre 4.000 y $6.000 \frac{m^3}{ha \cdot año}$ de agua, aplicado de forma corta y frecuente, realizamos los siguientes cálculos:

- Tomamos la parte alta de la horquilla, $6.000 \frac{m^3}{ha \cdot año}$ o 6.000.000 de litros, dado que el cultivo sin suelo aprovecha mejor el riego que el convencional, pero la densidad de plantas es mucho mayor.
- Si el cultivo dura medio año, 182 días, entonces tenemos que aplicar 33.000 litros de agua, redondeando, diarios.
- Calculamos el número de piquetas de riego, que será una por planta. Con 5.000 metros lineales de cultivo multiplicado por los 7 canales de cultivo, a razón de una planta cada 0.2 metros, entonces contamos con 175.000 plantas, con una piqueta de riego por cada una de ellas.
- Si cada piqueta de riego tiene un caudal de 2,3 L/h, por las 175.000 piquetas, tenemos un caudal total de 400.000 L/h (redondeado).
- Obtenemos el tiempo de riego diario dividiendo la necesidad diaria de agua, 33.000 litros, entre el caudal, 400.000 L/h; da un resultado de 0,085 horas de riego diarias, es decir, 5 minutos de riego al día.

Evitaremos realizar los riegos a primera y a última hora del día, ya que puede repercutir en un descenso de las temperaturas de las plantas de fresa. Cabe recordar que el riego ha de ser corto y frecuente, por lo que lo dividiremos en 5 riegos de 1 minuto al día.

6.2. PROGRAMACIÓN

La programación del PLC para el cultivo automatizado de fresas en interior consta de 8 bloques: Main [OB1], Adquisición de entradas [FC1], Adquisición de fecha y hora [FC2], Iluminación [FC3], Riego [FC4], Temperatura [FC5], Humedad [FC6] y Datos [DB1].



Ilustración 23.- Bloques de programa

MAIN [OB1]

El bloque Main [OB1] es, como su nombre indica, el principal del programa, desde que se llama a los bloques de función. Este bloque tiene 3 segmentos: el Segmento 1, "Main", el bucle principal del programa; el Segmento 2, "Control PID de temperatura" y el Segmento 3, "Clock 1/60 Hz".

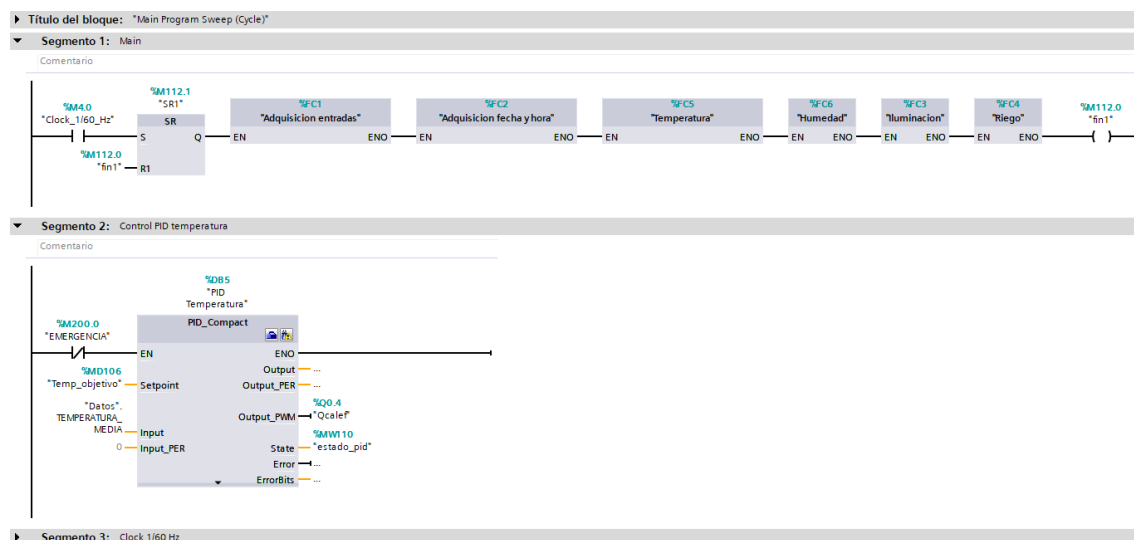


Ilustración 24.- Main [OB1]

El segmento Main contiene el bucle principal del programa. Un reloj que da señal una vez por minuto activa un bloque de "Set-Reset", el cual a su vez alimenta a las funciones, que están concatenadas. Al finalizar la ejecución de la última función se activa la marca "fin1", que reinicia el bloque "Set-Reset".

En el segundo segmento se encuentra el PID que controla la temperatura. Está situado aquí y no en una función para que se ejecute de forma continua, solo se detiene al pulsar la seta de emergencia. El bloque es un "PID_Compact" configurado para

trabajar con temperatura. El “Setpoint” es la marca “Temp_objetivo”, a la cual se le da valor en el bloque Temperatura [FC5]. El “Input” es el dato “TEMPERATURA_MEDIA”, adquirido de los sensores en el siguiente bloque. La salida, por PWM es la salida digital “Qcalef”.

El tercer segmento es un reloj de un pulso por minuto construido a partir de un reloj de 1 Hz y un contador, utilizado en el primer segmento.

ADQUISICIÓN DE ENTRADAS [FC1]

El segundo bloque implementa la adquisición de entradas.

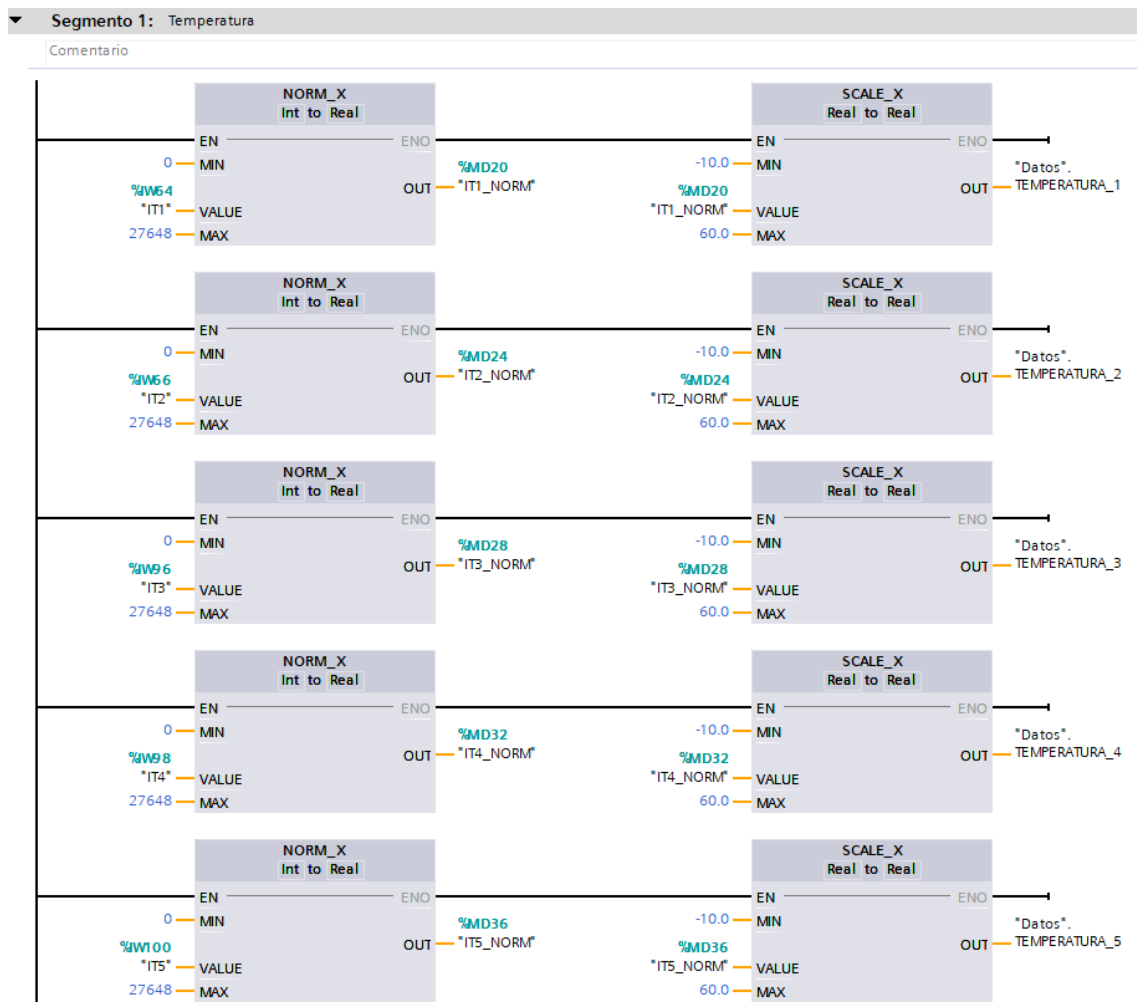


Ilustración 25.- Adquisición de entradas [FC1]

El primer segmento realiza la adquisición de las entradas de temperatura. Para ello, primero aplica un “NORM_X”, que transforma el rango de entrada, [0 – 27648], en un rango entre 0 y 100, tomando como “VALUE” la entrada analógica y como output una

marca auxiliar. Después, utiliza el bloque “SCALE_X” para convertir el rango de entre 0 y 100 en nuestro rango objetivo, en el caso de la temperatura [-10 – 60] °C. Para ello se toma como “VALUE” la marca auxiliar generada en el bloque anterior, y la salida se hace al modulo de datos, como “TEMPERATURA_n”.

Este proceso se lleva a cabo 5 veces, una vez por entrada de temperatura. En el segundo segmento, se repite el mismo esquema para la adquisición de los valores de humedad, con un rango [10 – 90] %.

En el tercer segmento se calculan las medias, máximos y mínimos de los datos adquiridos. Previo a esto, se sitúa in “TON”, con el objetivo de posponer estos cálculos 100 ms, lo suficiente para que se realice la adquisición de datos.

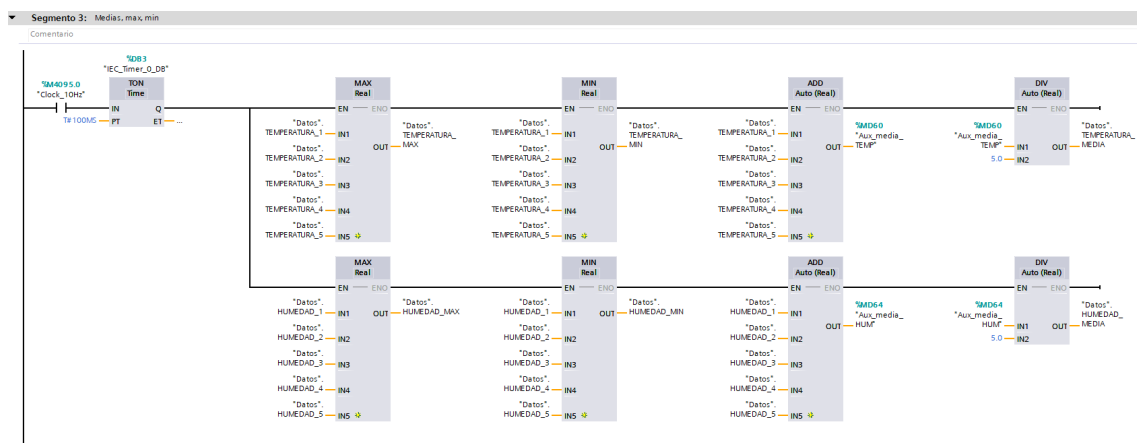


Ilustración 26.- Cálculo de temperaturas y humedades medias, máximas y mínimas [FC1]

ADQUISICIÓN DE FECHA Y HORA [FC2]

En este bloque, que solo consta de un segmento, se realiza la asignación de la fecha y la hora del PLC a 4 marcas, Mes, Día, Hora y Minuto, las cuales se utilizarán en las siguientes funciones.

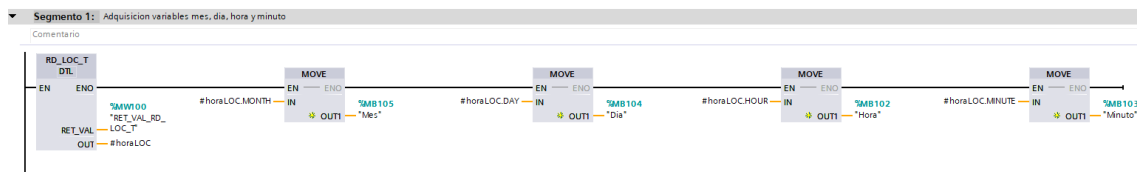


Ilustración 27.- Adquisición fecha y hora [FC2]

Para ello, primero se utiliza el bloque “RD_LOC_T DTL”, que da como *output* la fecha y la hora locales, en formato DTL, formada a su vez por datos tipo “Unsigned Int”, es decir entero sin signo. Posteriormente y de forma concatenada se copian los datos de mes, día, hora y minuto a las marcas correspondientes.

ILUMINACIÓN [FC3]

El bloque de iluminación es el más sencillo de todos. Solo cuenta con un segmento, el cual contiene un bloque “IN_RANGE” que activa la salida siempre y cuando la marca “Hora” (obtenida en el modulo anterior) tenga un valor entre 8 y 20, las

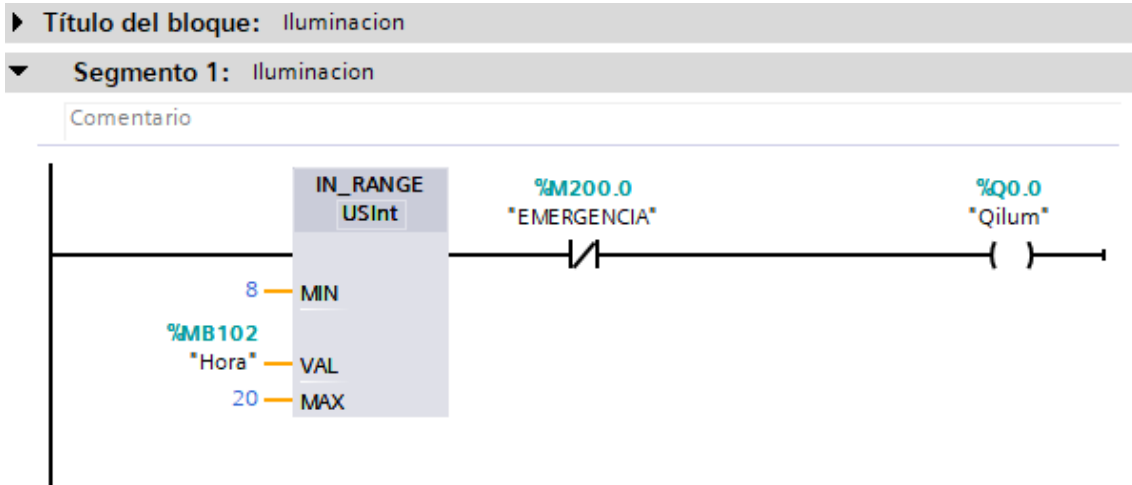


Ilustración 28.- Iluminación [FC3]

horas en las que la iluminación artificial ha de estar encendida. Siempre y cuando no se active la seta de emergencia, este bloque activa la salida “Qilum”.

RIEGO [FC4]

El bloque de riego también contiene un único segmento, el cual activa la salida “Qriego” si la marca “Hora” es igual a 9, 11, 13, 17 o 19, y la marca “Minuto” es inferior a 1, es decir igual a 0.

De esta forma se realiza un riego en 5 fases, de un minuto por fase.

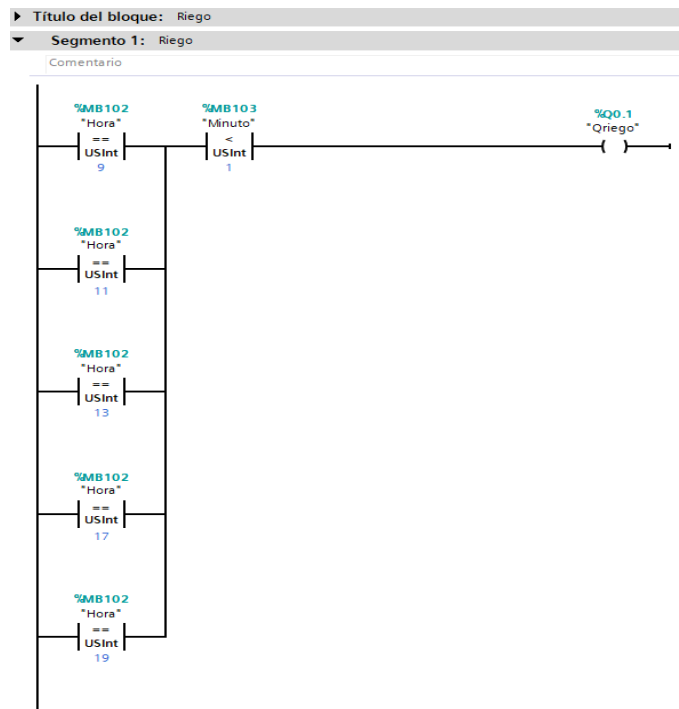
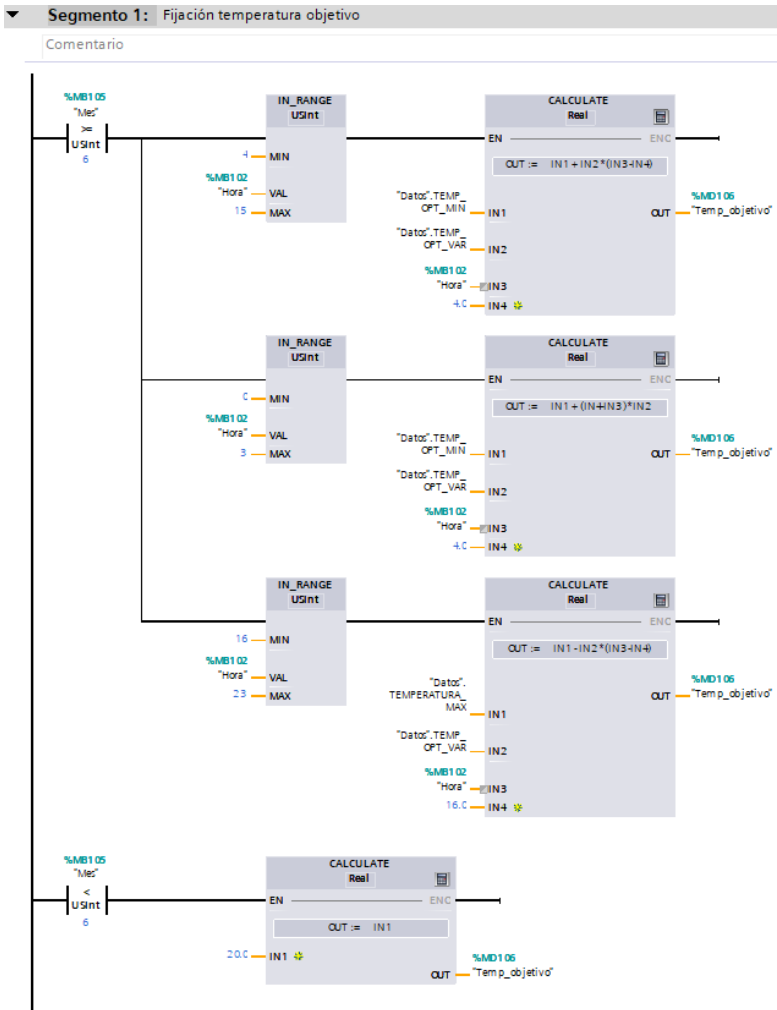


Ilustración 29.- Riego [FC4]

TEMPERATURA [FC5]



En este bloque se calcula la marca “Temp_objetivo” utilizada como “Setpoint” del PID. Esta se calcula en función de la marca “Mes” (de la que se infiere la etapa del cultivo) y de la hora del día, utilizando los bloques “IN_RANGE” y “CALCULATE” para obtener un valor en “Temp_objetivo” que varia de forma constante con el paso de las horas.

Ilustración 30.- Temperatura [FC5]

HUMEDAD [FC6]

Este bloque se encarga de llevar a cabo el control de la humedad ambiental relativa en el interior del invernadero. Para ello consta de 4 segmentos.

El primer segmento es el encargado de encender los aspersores, cuando el dato "HUMEDAD_MEDIA" baja del 60 %, y de apagarlos, cuando esa misma marca supera el 65 %. Esto se lleva a cabo mediante un bloque "Set-Reset", siempre y cuando no este pulsada la seta de emergencia.

El segundo segmento utiliza la misma estructura para encender y apagar el extractor y abrir o cerrar ventanas, mediante la salida "Qextract" y la marca "ventanas_abiertas" (que se utiliza en los segmentos siguientes). Este bloque "Set-Reset" se activa cuando el dato "HUMEDAD_MEDIA" sube de 70 %, y se desactiva cuando baja de 65%.

Los segmentos 3 y 4 activan las salidas digitales "Qmotor_abrir" y "Qmotor_cerrar", las cuales comunican con el variador, en función del estado de la marca "ventanas_abiertas", de las entradas de los finales de carrera y de la seta de emergencia.

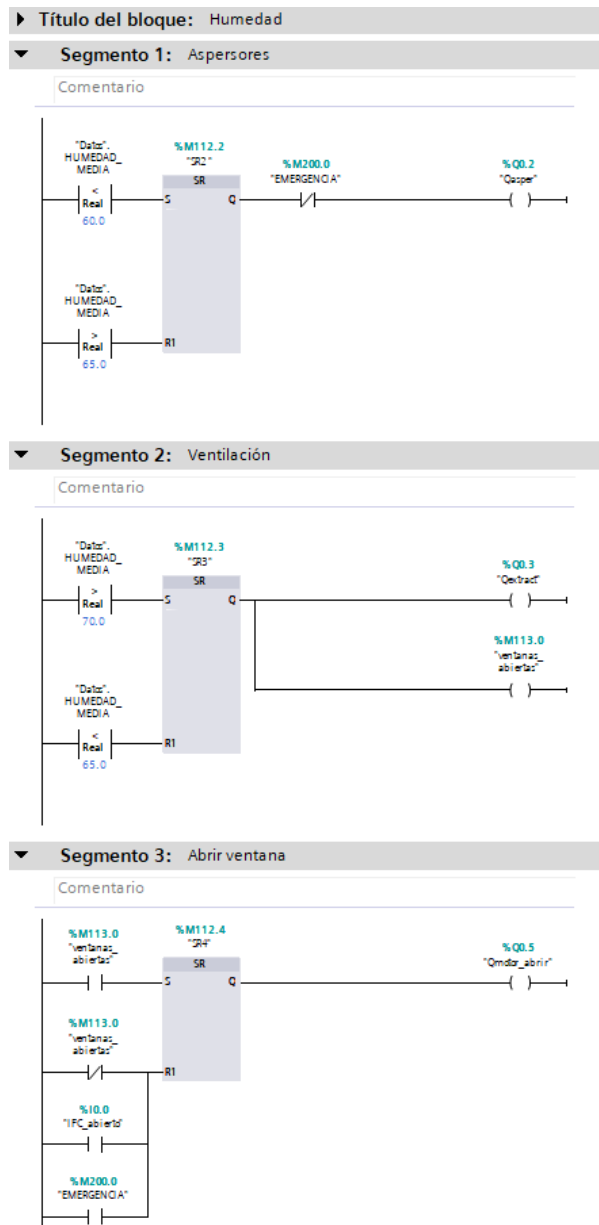


Ilustración 31.- Humedad [FC6]

DATOS [DB1]

En este bloque se almacenan los datos obtenidos, los cuales son medidas de temperatura y humedad, medias, máximos, mínimos y los datos de temperatura óptima máxima, mínima y varianza.

| Datos | | | | | | |
|-------|-------------------|---------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tipo de datos | Valor de arranq... | Remanen... | Accesible d... | Escri... |
| 1 | Static | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | TEMPERATURA_1 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | TEMPERATURA_2 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | TEMPERATURA_3 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | TEMPERATURA_4 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | TEMPERATURA_5 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | TEMPERATURA_MEDIA | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | TEMPERATURA_MAX | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9 | TEMPERATURA_MIN | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | HUMEDAD_1 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | HUMEDAD_2 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | HUMEDAD_3 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | HUMEDAD_4 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | HUMEDAD_5 | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | HUMEDAD_MEDIA | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | HUMEDAD_MAX | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | HUMEDAD_MIN | Real | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | TEMP_OPT_MAX | Real | 26.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19 | TEMP_OPT_VAR | Real | 0.8333333 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | TEMP_OPT_MIN | Real | 16.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Ilustración 32.- Datos [DB1]

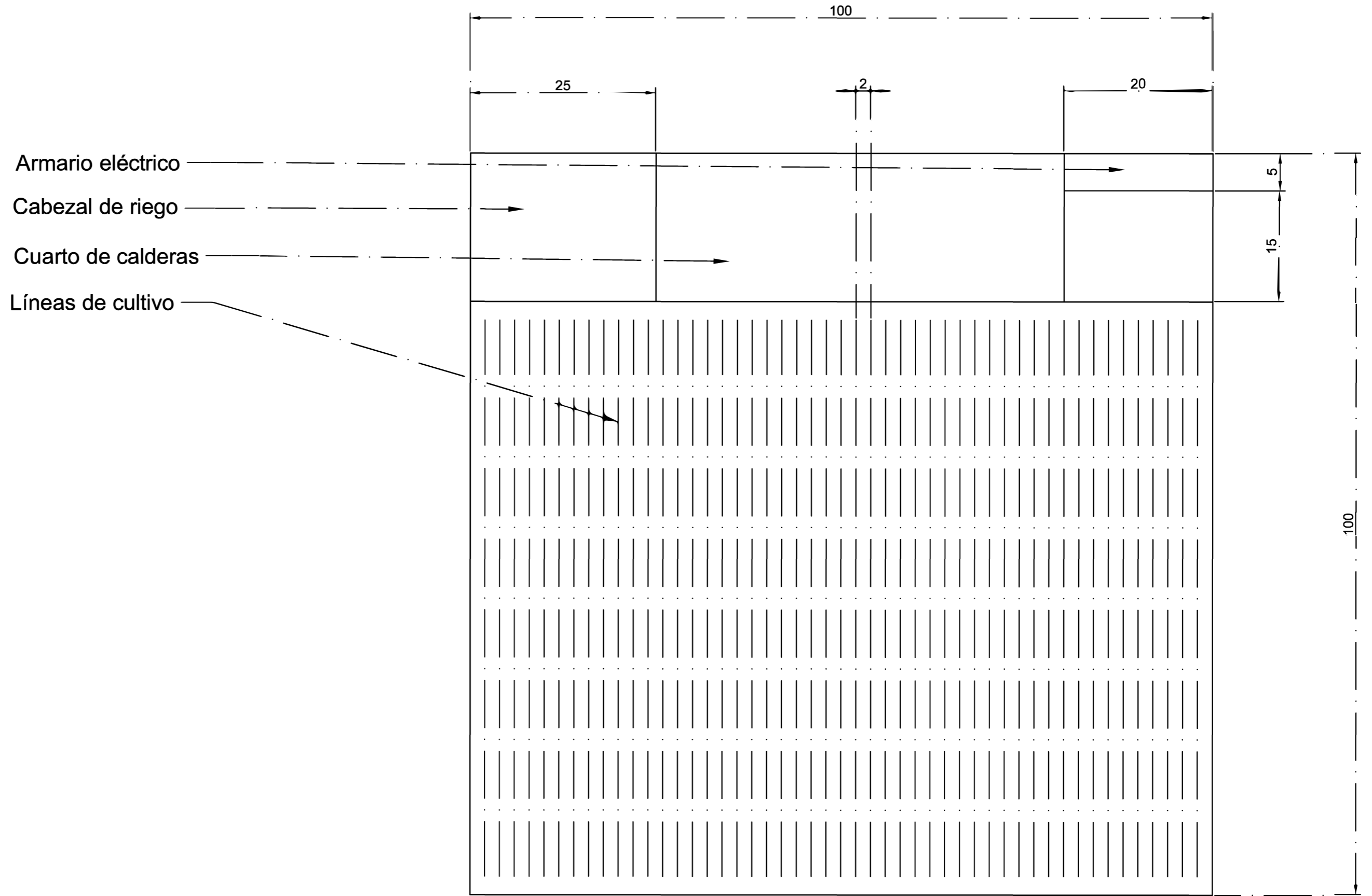
VARIABLES PLC

| Variables PLC | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|------------------------|---------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Nombre | Tabla de variables e.. | Tipo de datos | Dirección ▲ | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... |
| 1 | IFC_abierto | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2 | IFC_cerrado | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | IT1 | Tabla de variables e.. | Word | %IW64 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | IT2 | Tabla de variables e.. | Word | %IW66 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5 | IT3 | Tabla de variables e.. | Word | %IW96 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | IT4 | Tabla de variables e.. | Word | %IW98 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7 | IT5 | Tabla de variables e.. | Word | %IW100 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8 | IH1 | Tabla de variables e.. | Word | %IW102 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9 | IH2 | Tabla de variables e.. | Word | %IW104 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | IH3 | Tabla de variables e.. | Word | %IW106 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | IH4 | Tabla de variables e.. | Word | %IW108 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | IH5 | Tabla de variables e.. | Word | %IW110 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | Qilum | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | Qriego | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 15 | Qasper | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | Qextract | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | Qcalef | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | Qmotor_abrir | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 19 | Qmotor_cerrar | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.6 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | Aux_contador_60 | Tabla de variables e.. | Int | %MW2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 21 | Clock_1/60_Hz | Tabla de variables e.. | Bool | %M4.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 22 | IT1_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD20 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 23 | IT2_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD24 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 24 | IT3_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD28 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 25 | IT4_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD32 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 26 | IT5_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD36 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 27 | IH1_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD40 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 28 | IH2_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD44 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 29 | IH3_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD48 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 30 | IH4_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD52 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 31 | IH5_NORM | Tabla de variables e.. | DWord | %MD56 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 32 | Aux_media_TEMP | Tabla de variables e.. | Real | %MD60 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 33 | Aux_media_HUM | Tabla de variables e.. | Real | %MD64 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 34 | RET_VAL_RD_LOC_T | Tabla de variables e.. | Int | %MW100 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 35 | Hora | Tabla de variables e.. | USInt | %MB102 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 36 | Minuto | Tabla de variables e.. | USInt | %MB103 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 37 | Día | Tabla de variables e.. | USInt | %MB104 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 38 | Mes | Tabla de variables e.. | USInt | %MB105 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 39 | Temp_objetivo | Tabla de variables e.. | Real | %MD106 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 40 | estado_pid | Tabla de variables e.. | Int | %MW110 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 41 | fin1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M112.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 42 | SR1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M112.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 43 | SR2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M112.2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 44 | SR3 | Tabla de variables e.. | Bool | %M112.3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 45 | SR4 | Tabla de variables e.. | Bool | %M112.4 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 46 | ventanas_abiertas | Tabla de variables e.. | Bool | %M113.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 47 | EMERGENCIA | Tabla de variables e.. | Bool | %M200.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Ilustración 33.- Variables PLC

7. ANEXOS

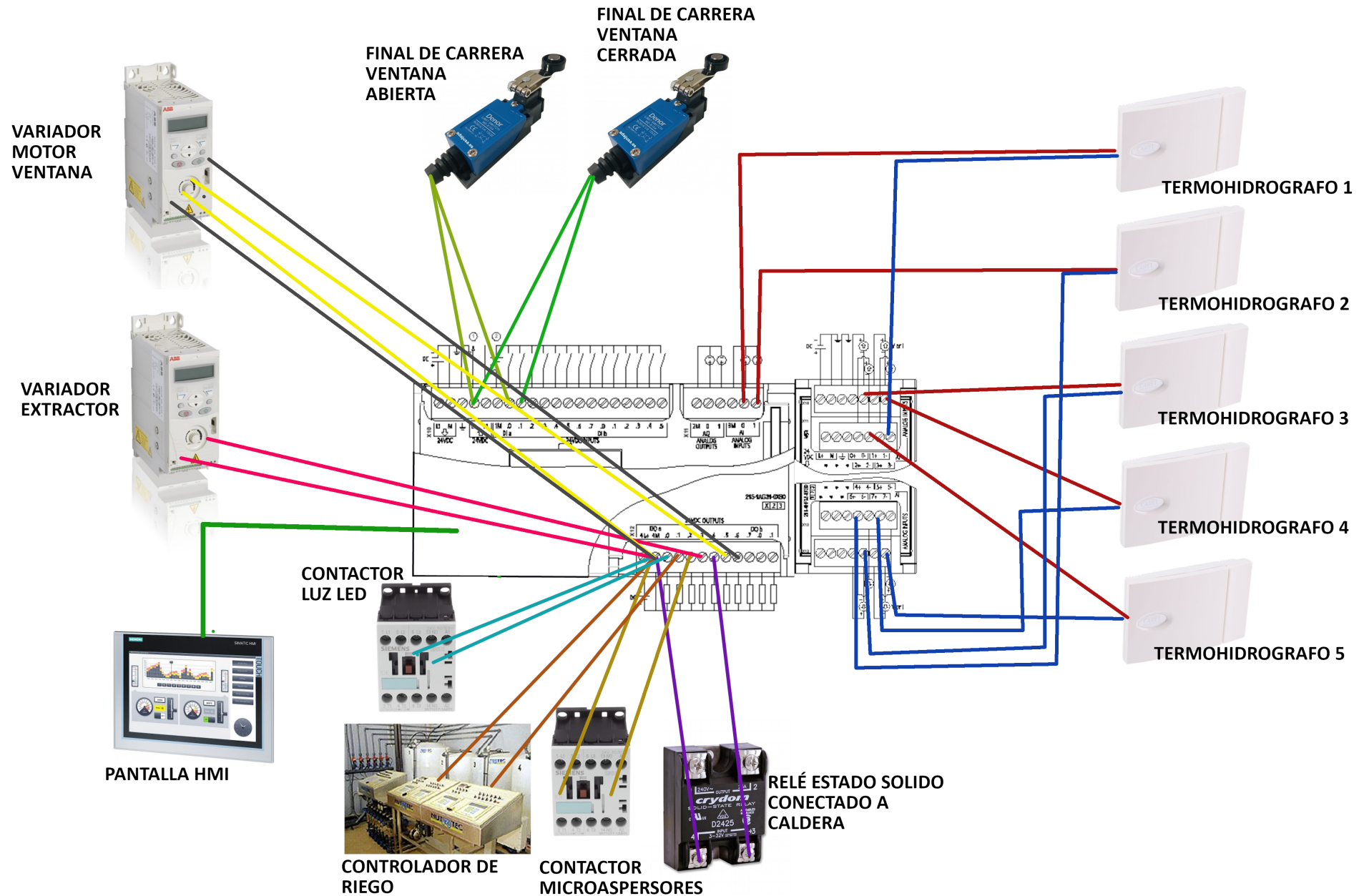
7.1. PLANOS



CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK





CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

7.2. PLIEGO DE CONDICIONES

7.2.1. DEFINICIONES Y ALCANCE DEL PLIEGO

El objeto de este documento es fijar las condiciones técnicas mínimas que debe cumplir la fabricación de un sistema de cultivo en interior automatizado, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad.

El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte del proyecto.

En determinados supuestos se podrán adoptar soluciones distintas a las exigidas en este documento, siempre y cuando vengan acompañadas de una justificación clara y cumplan con las exigencias mínimas de calidad especificadas en el mismo.

7.2.2. CONDICIONES Y NORMAS DE CARÁCTER GENERAL

- Reglamento (UE) No 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la fabricación de productos de construcción.
- Reglamento Electrotécnico de baja tensión RD 842 de 2 de agosto de 2002.
- Directiva 2012/19/ce del 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Se aplicará así mismo toda la legislación vigente en cuanto a Medio Ambiente y Seguridad Laboral en el Trabajo que pueda influir durante el proceso de ejecución del proyecto.

7.2.3. CONDICIONES PARTICULARES TÉCNICAS

OBJETO

La presente especificación técnica se refiere a la fabricación de un cultivo de interior automatizado.

Quedan excluidos todos los trabajos necesarios para la fabricación de los sensores, actuadores y otros componentes adquiridos en forma de producto acabado que deberán ser objeto de especificación aparte y responsabilidad de la empresa fabricante.

CONDICIONES DE LOS MATERIALES

ESTRUCTURA

A. CARACTERÍSTICAS

Estructura de cristal de 10 mm de espesor con un peso de 1.900 g/m². Dispondrá de una conductividad térmica de 0,17 W/m·k y un coeficiente de absorción acústica entre 0,60 y 0,75 en bandas de frecuencia de 500 Hz.

Las bisagras tendrán unas medidas de 45 x 38 mm y serán acero inoxidable.

B. CONTROLES DE CALIDAD

El cristal estará certificado oficialmente con la etiqueta de la UE y la marca AENOR-Medio Ambiente, en conformidad con las normas UNE de criterios ecológicos.

SENSORES

A. CARACTERÍSTICAS

El sensor de temperatura irá cubierto con una carcasa de acero inoxidable y conectado con un cable de longitud no inferior a 0,5 m. El tamaño de la sonda será de 5 x 25 mm y su grado de medición será como mínimo de -10 a 60 °C. Además, tendrá una constante de pérdida típica de 5 mW/°C.

El sensor de humedad estará construido sobre una estructura de polímero sólido patentado, poseerá una baja dependencia de la temperatura y será resistente al agua. Los valores de la tensión de salida en oscilarán entre 1 V y 3,6 V trabajando el sensor desde 0 al 100 % de su rango de medida y estando alimentado a 5 V. Se podrá alimentar ratiométricamente de 4,75 V a 5 V y será apto en rangos de tensión de entrada entre 3 V y 10 V. Podrá trabajar con temperaturas desde -30 °C a 70 °C y una humedad relativa desde 0 % a 100 %, aunque será más preciso en un rango comprendido entre 10 % y 95 %. El consumo de corriente máximo será de 2 mA y el tiempo de respuesta de 150 ms.

B. CONTROLES DE CALIDAD

El sensor de temperatura contará con grado de protección IP67.

El sensor de humedad contará con grado de protección IP68.

PLC

A. CARACTERÍSTICAS

Las características se pueden consultar en la hoja técnica del PLC Siemens 1215C - 6ES7215-1AG40-0XB0.

B. CONTROLES DE CALIDAD

Los controles de calidad necesarios se pueden consultar en la hoja técnica del PLC Siemens 1215C - 6ES7215-1AG40-0XB0.

LÁMPARA

A. CARACTERÍSTICAS

La lámpara contará con tecnología LED y será capaz de proporcionar una longitud de onda de espectro completo de 380 – 780 nm. Podrá alcanzar una temperatura máxima de hasta 64 °C. Su potencia nominal será de 200 W y trabajará a una frecuencia de 50/60 Hz. Tendrá unas dimensiones de 270 x 185 x 25 mm, un peso máximo de 1500 g, y una vida útil no inferior a 50.000 h.

B. CONTROLES DE CALIDAD

El diseño de la lámpara led deberá cumplir con el reglamento (UE) No 1194/2012 de la Comisión de 12 de diciembre de 2012, sobre los requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos.

El etiquetado energético de la lámpara cumplirá con el reglamento 874/2012 de la Comisión de 12 de julio de 2012 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo.

MATERIALES PARA LA VENTILACIÓN

A. CARACTERÍSTICAS

El ventilador será de flujo axial con unas medidas de 200 x 200 x 20 mm y un peso no superior a 50 kg. La presión de aire será de 3,53 PA y el caudal será igual a 0,036 m³/s.

Los tornillos antivibración serán de silicona y tendrán un peso de 20,65 g.

B. CONTROLES DE CALIDAD

Ventilador con certificado de calidad ISO 9001 y marcado CE.

CONEXIONADO DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

A. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EJECUCIÓN

La conexión de los diferentes elementos electrónicos se realizará manualmente y siguiendo el ruteo y el código de colores definido en los planos del proyecto.

Los cables que recorran el interior de las áreas que forma la estructura deben estar debidamente unidos mediante grapas a las esquinas interiores formadas por la unión de las paredes de cartón de la estructura. Las grapas se aplicarán manualmente con una grapadora para cables de máximo 4,5 mm de diámetro, y de tal forma que la distancia entre grapas consecutivas no supere los 10 cm.

B. CONTROLES A REALIZAR

Las conexiones por tornillo estarán bien realizadas cuando al tirar ligeramente de los cables, estos no se suelten de la ranura.

La distancia entre los cables que recorran el interior de las áreas y cualquiera de las dos paredes adyacentes de la estructura a las que están unidos no deberá superar bajo ningún caso los 5 mm.

Al enchufar el transformador a una red eléctrica de 220-230 v y 50 hz, deberá observarse que se enciende un LED de estado en el PLC indicando que están conduciendo la electricidad.

7.2.4. PRUEBA DE SERVICIO

Tras el montaje, antes de proceder al uso del sistema se deberán realizar las siguientes pruebas:

- Funcionamiento del sistema de riego: con el montaje del proyecto terminado, se colocará una maceta con tierra seca en el interior del área destinada a la planta. Se introducirá el sensor de humedad en el interior de la tierra a la profundidad correcta, de manera que el cable del sensor quede

completamente fuera de la tierra, y se situará el tubo de PVC sobre la maceta. Seguidamente se conectará el transformador a una red de tensión de 220-230 v y 50 hz. Una vez realizadas las operaciones anteriores, se deberá producir el riego de la tierra del interior de la maceta hasta que esta esté húmeda. Si el riego no se inicia o, una vez iniciado, no se detiene, no se pasará la prueba.

- Funcionamiento del sistema de ventilación: con el montaje del proyecto terminado y el transformador conectado a una red de tensión de 220-230 v y 50 hz, se forzará la salida del PLC que controla la ventilación mediante la pantalla HMI. Seguidamente se apagará la ventilación y se observará que, poco a poco, el ventilador disminuye la velocidad hasta detenerse por completo. No se superará la prueba si el ventilador no se ha encendido o, con el ventilador en funcionamiento, al cortar la señal de salida del PLC, el ventilador no se detiene.

7.3. PRESUPUESTO

| SUBSISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN | | | |
|---|-----------------|----------|-------------------|
| CONJUNTO COMPUTACIÓN | | | |
| COMPONENTE | PRECIO / UD (€) | UNIDADES | COSTE (€) |
| Siemens CPU 1215C - 6ES7215-1AG40-0XB0 | 575,72 | 1 | 575,72 |
| Siemens SM 1231 AI - 6ES7231-4HF32-0XB0 | 372,08 | 1 | 372,08 |
| Panel HMI SIMATIC Comfort Siemens TP1200 Comfort - 6AV2124-0MC01-0AX0 | 2.722,50 | 1 | 2.722,5 |
| CONJUNTO CONTROL DE TEMPERATURA | | | |
| Calefacción por agua caliente | 36.000 | 1 | 36.000 |
| Termohigrómetro Carel DPWC111000 | 147,49 | 5 | 737,45 |
| Relé de estado sólido Crydom D2425 | 39,11 | 1 | 39,11 |
| CONJUNTO CONTROL DE HUMEDAD AMBIENTAL | | | |
| Microaspersor completo 180º. Pack de 100 Unidades. | 54,45 | 1 | 54,45 |
| SIRIUS Classic Contactor 40 A, Bobina 24 V DC | 231,76 | 1 | 231,76 |
| Motor 240NM 0.25 kw | 345,00 | 20 | 6.900 |
| Extractor VHP 80 T4 1CV (0,75KW) | 571,12 | 9 | 5.140,08 |
| Variador de frecuencia Serie Altivar ATV12 | 203,52 | 29 | 5.902,08 |
| CONJUNTO CONTROL ILUMINACIÓN ARTIFICIAL | | | |
| CF-UT01 | 27,52 | 5.000 | 137.600 |
| SIRIUS Classic Contactor 40 A, Bobina 24 V DC | 231,76 | 1 | 231,76 |
| SUBTOTAL | | | 196.506,99 |

*Todos los precios son con IVA incluido.

| SUBSISTEMA DE CULTIVO | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------|----------------|
| INVERNADERO | | | |
| COMPONENTE | PRECIO / UD (€) | UNIDADES | COSTE (€) |
| Invernadero de cristal tipo venlo | 73,5 € / m ² | 10.000 | 735.000 |
| CONJUNTO CULTIVO SIN SUELO | | | |
| Canales PVC y soporte | 3,57 € / m | 5.000 | 17.850 |
| Sustrato fibra de coco | 0,48 € / L | 30.000 | 14.400 |
| SUBTOTAL | | | 767.250 |

*Todos los precios son con IVA incluido.

| SUBSISTEMA DE RIEGO | | | |
|--|-----------------|----------|---------------|
| CABEZAL DE RIEGO | | | |
| COMPONENTE | PRECIO / UD (€) | UNIDADES | COSTE (€) |
| Cabezal de riego presupuestado por Riegos Agrícolas S.L. | 19.999 | 1 | 19.999 |
| CONJUNTO DISTRIBUCIÓN | | | |
| Red de distribución | 12.500 | 1 | 12.500 |
| Piqueta goteadora | 0,11 | 175.000 | 19.250 |
| SUBTOTAL | | | 51.749 |

*Todos los precios son con IVA incluido.

| COSTE TOTAL | |
|--------------------|---------------------|
| SUBSISTEMA | SUBTOTAL (€) |
| AUTOMATIZACIÓN | 196.506,99 |
| CULTIVO | 767.250,00 |
| RIEGO | 51.749,00 |
| TOTAL | 1.015.505,99 |

*Todos los precios son con IVA incluido.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Axayacatl, «Estadísticas agrícolas de fresa: producción, superficie y rendimiento,» *Blog Agricultura*, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://blogagricultura.com/estadisticas-fresa-produccion/> [Accedido: 21-JUN-2019]
- [2] Junta de Andalucía, *La fresa de Huelva*, Sevilla, 2008.
- [3] *Colección audiovisual sobre Horticultura: FRESA*. [Película]. España: Ministerio de Agricultura de España, 2012.
- [4] A. J. Mora, «Huelva busca fresas sin patentar,» *El País*, 19 Marzo 2017.
- [5] Medina-Mínguez, J.J. et. al., «Distribución varietal en el cultivo de fresa en Huelva. Campaña 2018-2019,» JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera., Sevilla, 2019.
- [6] J. V. M. i. Borrego, *Horticultura herbácea especial*, Madrid: Mundi-Prensa, pp. 588, 2002.
- [7] H. T. Hartmann, «Review Papers: Some effects of temperature and Figure period on flower formation and runner production in the strawberry,» *Plant Physiol*, nº 22, pp. 407-420, 1947.
- [8] R. B. Quiles, «*Producción de fresa sin suelo: Situación actual y perspectivas*,» Trabajo fin de máster, ETSIA, UPM, Madrid, 2015.
- [9] Infoagro, «<http://www.infoagro.com/>,» [En línea]. Available: http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp. [Último acceso: 8 Julio 2019].

- [10] Fitoagricultura, «<https://www.fitoagricola.net/>,» [En línea]. Available: <https://www.fitoagricola.net/es/tienda-online/Catalog/show/plastico-negro-150-gg-ancho-150-m-co-30p-374467>. [Último acceso: 14 Julio 2019].
- [11] Tianjin Chamtop Technology Co., Ltd., «<https://www.alibaba.com/>,» [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Horticulture-U-type-trough-greenhouse-vertical_62079123193.html. [Último acceso: 2019 Julio 16].
- [12] FIXR, «<https://www.fixr.es/>,» [En línea]. Available: <https://www.fixr.es/guias-de-precios/invernadero>. [Último acceso: 19 Julio 2019].
- [13] Planeta Huerto, «<https://www.planetahuerto.es/>,» [En línea]. [Último acceso: 20 Julio 2019].
- [14] Optigarden, «<https://optigarden.com/>,» [En línea]. Available: https://optigarden.com/es/905-canna-terra-professional-plus-25l.html?gclid=CjwKCAjwk93rBRBLEiwAcMapUffzJhR2ckpt5nxN_OBp4uzjdw1_MAQfi2Bu3_9EM1it8qOkISjrcBoCQYoQAvD_BwE. [Último acceso: 20 Julio 2019].
- [15] Amazon, «Amazon,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/>. [Último acceso: 22 Julio 2019].
- [16] Mano a mano, [En línea]. Available: <https://www.manomano.es/>. [Último acceso: 22 Julio 2019].
- [17] P. Huerto. [En línea]. Available: <https://www.planetahuerto.es/>. [Último acceso: 22 Julio 2019].
- [18] Tuverano.com, «<https://www.tuverano.com/>,» [En línea]. [Último acceso: 22 Julio 2019].
- [19] Soler Palau, «<https://www.solerpalau.com/>,» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-la-climatizacion-de-invernaderos/>. [Último acceso: 22 Julio 2019].

- [20] RS Components, «<https://es.rs-online.com/>,» [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/>. [Último acceso: 23 Julio 2019].
- [21] Automation 24, «<https://www.automation24.es/>,» [En línea]. Available: <https://www.automation24.es/fuente-de-alimentacion-conmutada-phoenix-2868664-step-ps-1ac-24dc-4-2>. [Último acceso: 23 Julio 2019].