

Javier Rodríguez Fernández

**AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO PARA EL CULTIVO DE FRESA Y
FRESÓN**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Dirigido por Xavier Vilanova Salas y José Luis Ramírez Falo

Grado de Electrónica Industrial y Automática



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2023

Índice

1	Introducción	9
2	Estado del arte	11
2.1	Origen e historia de los Invernaderos	11
2.2	Factores previos al diseño y la construcción de un invernadero	17
2.2.1	Factores geográficos	18
2.2.1.1	Microclimas	19
2.2.1.2	Radiación solar	19
2.2.1.3	Latitud y elevación del terreno	22
2.2.1.4	El viento.....	22
2.2.1.5	Precipitaciones.....	24
2.2.1.6	Temperatura.....	25
2.2.1.7	Accesos de agua y riego	27
2.2.1.8	Ventilación	30
2.2.1.9	Humedad.....	32
2.2.1.10	Orientación	36
2.2.1.11	Plagas y enfermedades del cultivo.....	37
2.2.2	Factores técnicos.....	40
2.2.2.1	Cultivos.....	40
2.2.2.2	Servicios	44
2.2.2.3	Dimensiones	45
2.2.2.4	Materiales de la estructura	47
2.2.2.5	Organización de la mano de obra	48
2.2.3	Factores socioeconómicos	49
2.2.3.1	Presupuesto de un invernadero	49
2.3	Estructuras y elementos constructivos de un invernadero.....	49
2.3.1	Elementos que componen la estructura de un invernadero	49
2.3.2	Tipos y usos de arcos.....	50
2.3.3	Tipos y usos de perfiles	51
2.3.4	Cerramiento	51
2.3.5	Tipos y usos de mallas.....	52
2.3.6	Tipos y usos de pantallas	53
2.4	Tipos de invernaderos.....	54
2.4.1	Invernadero tipo venlo.....	54
2.4.2	Invernadero tipo raspa y amagado.....	55

2.4.3 Invernadero tipo capilla.....	56
2.4.4 Invernadero tipo gótico.....	56
2.4.5 Invernadero tipo asimétrico o tropical.....	57
2.5 Hidroponía.....	57
2.5.1 New Growing System (NGS).....	59
2.6 Situación de la fresa y fresón en el comercio.....	62
3 Memoria descriptiva.....	65
3.1 Dimensiones y estructura del invernadero.....	65
3.1.1 Distribución interna y materiales del invernadero.....	66
3.2 Dimensiones y estructura de la ubicación del sistema de riego.....	72
3.2.1 Distribución y materiales del sistema de riego.....	73
3.3 Abastecimiento por Energía solar.....	95
3.3.1 Instalación de placas solares.....	96
3.4 Funcionamiento del sistema de fertirrigación hidropónico.....	99
Primera etapa: preparación de la solución nutritiva.....	99
Segunda etapa: distribución y tratamiento de la solución nutritiva.....	100
3.4 Selección de los fertilizantes.....	102
3.4.1 Estudio previo de las condiciones del entorno y cultivo.....	102
3.4.2 Abastecimiento hídrico del sistema.....	104
3.4.3 Tiempos de riego según el crecimiento de la planta.....	105
3.4.4 Propuesta y manejo de la solución nutritiva.....	106
3.5. Implementación del Microcontrolador: Código, Conexiones y Programación.....	109
3.5.1 Microcontrolador y Placa seleccionados.....	109
3.5.2 Configuración y Funcionalidad de los Pines en la Placa.....	110
3.5.2 Conceptos previos del programa.....	113
3.5.4 Inicios del programa.....	113
3.5.5 Funcionamiento básico del programa.....	114
3.5.6 Preparación del riego.....	115
4 Memoria de cálculo.....	118
4.1 Instrumentación de la Pt100.....	118
4.2 Selección del motor de trifásica.....	121
4.3 Potencia máxima total del sistema.....	123
4.4 Dimensionamiento de las placas solares.....	126
4.5 Dimensionamiento de los controladores de las placas solares.....	129
4.6 Dimensionamiento de las baterías de la instalación solar.....	130
4.7 Secciones de los cables del sistema.....	130
4.8 Protecciones del sistema eléctrico.....	135

4.9	Número de multibandas.....	137
4.10	Aproximación del volumen de cultivo	138
4.11	Abastecimiento hídrico (L)	139
4.12	Transformación de mEq/L a mmol/L de las condiciones hídricas de la fresa.....	140
4.13	Transformación de mg/L a mmol/L de las condiciones hídricas del agua de riego	141
4.14	Cálculo de la composición de la solución nutritiva.....	141
4.15	Resultados del ajuste de la solución nutritiva.....	145
4.16	Mano de obra del proyecto	147
4.17	Beneficio industrial	148
5	Planos	149
6	Listado de Materiales, Componentes y Cantidades	150
7	Presupuestos.....	154
8	Conclusiones del proyecto	159
9	Referencias.....	160
10	Anexos.....	169
10.1	Variables globales, librerías y constantes.....	169
10.2	Interrupciones y Timer	170
10.3	Función control_caudal ().....	172
10.4	Función void_setup ().....	174
10.5	Función void_loop ()	175
10.6	Clase diseñada y librerías adicionales	177
10.7	Constructor	178
10.8	Función set_valor ().....	179
10.9	Función lectura_HCSR04 ()	180
10.10	Comprobar_valor ()	180
10.11	avisos_tratamientos_error ()	182
10.12	lectura_potenciometro ().....	187
10.13	menu ().....	187
10.14	gestionar_lecturas ()	189
10.15	tomar_decisiones ().....	192
10.16	ini_relay ()	192
10.17	reset ().....	193
10.18	preparar_riego ().....	193
10.18	mezclado_comprobacion ()	195
10.19	parametros_solucion ()	196
10.20	Riego_final ().....	197

10.21 invernadero ()	199
10.22 Ajuste de la solución nutritiva	201

Índice de figuras

Figura 1. Imagen del proyecto SPECULARIA, basado en los antiguos invernaderos romanos. [1].....	12
Figura 2. Vista del exterior e interior de la Orangerie de Versailles. [2]	13
Figura 3. Vistas y plano de planta del jardín del castillo de Edzell. [3].....	13
Figura 4. Ondol coreano (Izquierda) [4], Hipocausto romano (Derecha) [5].	14
Figura 5. El gran invernadero del Syon Park construido por Charles Fowler. [6].....	15
Figura 6. Gran invernadero de Chatsworth (izquierda) y Crystal Palace (derecha).....	15
Figura 7. Invernadero neerlandés actual. [8]	16
Figura 8. Vista de los invernaderos de Almería desde el espacio, el cielo y el interior. [9]	17
Figura 9. Ejemplo de invernadero industrial con autosuficiencia solar. [10].....	17
Figura 10. Esquema que recoge los factores previos al diseño de un invernadero.	18
Figura 11. Relación entre la sensibilidad espectral relativa y la longitud de onda. [11]....	20
Figura 12. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la absorción de clorofila a y b en las plantas.[12].....	21
Figura 13. Invernadero iluminado mediante luces LED rojas y azules. [13]	21
Figura 14. Declinación solar. [14].....	22
Figura 15. Ejemplo de cortavientos natural [15] y artificial [16].....	23
Figura 16. Relación temperatura en °C y sobresaturación del vapor de agua gm ³ . [17]....	25
Figura 17. Ejemplo de un modelo dinámico de balance de energía de un invernadero.[18]	26
Figura 18. Invernadero que usa una malla de sombreado para bajar las temperaturas.[19] ..	27
Figura 19. Ejemplo de un esquema de los elementos y equipamiento necesario de un sistema de riego.[20].....	28
Figura 20. Relación entre el tipo de riego y la eficiencia que proporciona según la empresa Jacto. [21]	30
Figura 21. Ejemplo de invernadero con ventilación natural cenital y lateral. [22]	31
Figura 22. Ventilación forzada de un invernadero. [23]	31
Figura 23. Ejemplo de curva de retención de humedad del suelo. [24]	33
Figura 24. Ejemplo de curva de la conductividad hidráulica. [24]	34
Figura 25. Ejemplos de humedades relativas para distintas especies en % según la empresa Nutricontrol.[25].....	35
Figura 26. Orientación de un invernadero según la radiación solar. [26]	36
Figura 27. Orientación de un invernadero según la dirección del viento. [26]	37
Figura 28. Cultivos afectados por <i>Botrytis cinerea</i> . [27]	38
Figura 29. Envés de una hoja infectada por la mosquita blanca. [28].....	38
Figura 30. Hoja afectada por un minador de hojas. [29]	39
Figura 31. Trampas atrayentes amarillas para evitar plagas en los invernaderos. [30].....	39
Figura 32. Flor afectada por un tisanoptero. [31]	40
Figura 33. Ejemplo de un invernadero industrial de la planta del tomate. [32]	41
Figura 34. Zona de producción de un vivero ornamental. [33].....	42
Figura 35. Invernadero de cultivo de claveles en Murcia. [34].....	43
Figura 36. Zona de producción de un invernadero semillero. [35]	43
Figura 37. Inclinación de un techo a dos aguas según la inclinación de los rayos solares. [26]	46
Figura 38. Formas de los arcos mencionados. [36]	51

Figura 39. Invernadero tipo venlo o tipo holandés. [37]	55
Figura 40. Estructura de un invernadero tipo raspa [38] y amagado [39].....	55
Figura 41. Estructura de un invernadero tipo capilla o multicapilla. [40].....	56
Figura 42. Estructura de un invernadero tipo gótico. [41][42].....	57
Figura 43. Estructura de un invernadero tipo asimétrico o tropical.	57
Figura 44. Tipos de sistemas de cultivo hidropónico. [44]	58
Figura 45. Disposición de una multibanda NGS y detalles del final de línea.[45]	59
Figura 46. Esquema de las ventajas que proporciona un sistema NGS.....	60
Figura 47. Forma y disposición de las raíces de un sistema NGS de multibandas.[46][47]	61
Figura 48. Factores asociados a la sostenibilidad y rentabilidad de un proyecto de riego hidropónico NGS. [48]	61
Figura 49. Gráfico de las exportaciones de frutas realizadas por España en el 2021.....	63
Figura 50. Diversificación o concentración de los mercados en exportación. [49]	64
Figura 51. Multibandas para riego hidropónico. [50].....	67
Figura 52. Celosías H14 666 del sistema de multibandas. [51]	67
Figura 53. Disposición de un sistema oscilante de un cultivo NGS de fresas. [52].....	68
Figura 54. Estructura y funcionamiento de un sistema oscilante. [53]	68
Figura 55. A) Motor, B) Cadenas, C) Piñón con tubo, D) Placa con cojinetes, E) Barras galvanizadas de mando, F) Engranajes cónicos, G) Anillos de cables y H) Barras galvanizadas no impulsoras. [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60]	70
Figura 56. Esquema del sistema de suministro y recolección del riego.	71
Figura 57. Depósito de 20 L y medidas. [61]	73
Figura 58. Depósito de mezcla y recolección de 3000 L y especificaciones técnicas extradidas del datasheet. [62]	74
Figura 59. Depósito pluvial y de desecho de 10000 L. [63]	75
Figura 60. Pines y funcionamiento del sensor HC-SR04. [64][65].....	77
Figura 61. Sensor DS18B20 e instalación extraída del datasheet. [66].....	78
Figura 62 . Sensor de pH y el módulo de control.[67].....	79
Figura 63. Sensor de conductividad eléctrica TDS METER V 1.0 y el módulo de control.[68].....	80
Figura 64. Bomba hidráulica de la compañía LIGHTEU®. [69].....	81
Figura 65. Calentador de inmersión RS PRO. [70].....	83
Figura 66. Sistema de desinfección 6PM y dimensiones. [71].....	84
Figura 67. Electroválvulas de 2 vías - Hembra de 1-1/2. [72][73].....	85
Figura 68. Electroválvulas de 3 vías - Hembra de 1-1/2. [74]	86
Figura 69. Relés de 8 y 4 canales. [75][76].....	87
Figura 70. Caudalímetro YF-s201. [78]	88
Figura 71. Filtro de malla y filtrado 35 Mesh. [78].....	90
Figura 72. Ejemplo de fitting macho y hembra. [79][80].....	91
Figura 73. Ejemplo de reducción cónica y dimensiones. [81]	92
Figura 74. Cruz de PVC y dimensiones. [82].....	92
Figura 75. Sifón de evacuación. [83].....	93
Figura 76. Esquema de la instalación de las tuberías, elementos de unión y depósitos.	94
Figura 77. Esquema de la instalación eléctrica solar. [92][93] [94] [95] [96][97].....	96
Figura 78. Placas solares RSM132-8-670BMDG.[104][105].....	97
Figura 79. Regulador BlueSolar Victron PWM-Pro (SCC010020110). [98]	97
Figura 80. Batería AGM 24V 4420 Ah RITAR. [100][101].....	97
Figura 81. Reguladores de tensión a 12 V y 5 V. [106][107]	98
Figura 82. NFlixin 960. [102][103].....	98

Figura 83. Inversor de corriente - VEVOR SOLAR [99]	98
Figura 84. Esquema del sistema desarrollado.	102
Figura 85. Anotaciones y condiciones hídricas de las fresas dependiendo de la fase de desarrollo. [84][85].....	106
Figura 86. Esquema de los pines del microcontrolador ATmega2560.	109
Figura 87. Funcionamiento del método Polling en programación.	114
Figura 88. Funcionamiento de la lectura del sensor HC-SR04 y conexión.....	115
Figura 89. Circuito eléctrico con la Pt100 y un puente de Wheatstone.	118
Figura 90. Esquema eléctrico del INA151.[88].....	120
Figura 91. Tabla que contiene las especificaciones eléctricas de los posibles motores. ..	122
Figura 92. Conexión de los elementos y potencias.	125

Índice de tablas

Tabla 1. Dimensiones favorables para un invernadero dependiendo del clima de la zona. [26]	46
Tabla 2. Propiedades y características de los diferentes plásticos usados en los invernaderos. [26]	52
Tabla 3. Especificaciones de las dimensiones del invernadero.	66
Tabla 4. Descripción y especificaciones del soporte oscilante.....	70
Tabla 5. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor HC-SR04. [64][65]	77
Tabla 6. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor Pt100. [66]	78
Tabla 7. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor de pH y el módulo de control. [67]	79
Tabla 8. Especificaciones electrónicas y anotaciones del TDS METER V 1.0 y el módulo de control. [68]	80
Tabla 9. Especificaciones electrónicas y anotaciones De la bomba hidráulica. [69]	81
Tabla 10. Especificaciones electrónicas del calentador de inmersión RS PRO. [70]	82
Tabla 11. Especificaciones del sistema de desinfección 6 GPM.....	83
Tabla 12. Especificaciones de las electroválvulas de 2 vías - Hembra de 1-1/2. [72][73].	84
Tabla 13. Especificaciones de las electroválvulas de 3 vías - Hembra de 1-1/2. [74].....	85
Tabla 14. Especificaciones de los Relés de 8 canales. [75].....	86
Tabla 15. Especificaciones de los Relés de 4 canales.[76].....	87
Tabla 16. Especificaciones del caudalímetro YF-s201. [78].....	88
Tabla 17. Características de la tira Leds seleccionadas.....	89
Tabla 18. Características del sensor DHT11.	89
Tabla 19. Número y tipo de fitting de PPFV que se usarán en el proyecto. [79][80]	91
Tabla 20. Número y tipo de reducciones cónicas que se usarán en el proyecto. [81]	91
Tabla 21. Número y tipo de cruz de PVC que se usarán en el proyecto. [82].....	92
Tabla 22. Concentración de macronutrientes y micronutrientes en la solución nutritiva para la fresa en hidroponía en mEq/L.[84][85]	104
Tabla 23. Concentración de macronutrientes del agua de Tarragona en mg/L.	104
Tabla 24. Límites del consumo hídrico y volumen de cultivo.	105
Tabla 25. Límites de cantidades de los fertilizantes que se emplearán en la solución nutritiva durante un día y toda su vida.	107
Tabla 26. Límites de cantidades de los fertilizantes que se emplearán en la solución nutritiva durante un día y toda su vida.	108
Tabla 27. Configuración de los puertos.....	113
Tabla 28. Parámetros seleccionados para el cálculo del rendimiento global del sistema..	128
Tabla 29. Resultados obtenidos del ajuste de la solución nutritiva realizado.	146

1 Introducción

Las necesidades alimentarias van cambiando con el tiempo y también lo hacen las formas de satisfacerlas. Partiendo en sus comienzos con la caza y la recolección para más tarde ir evolucionando cada vez hacia formas más complejas como son la ganadería y la agricultura. Éstas, a su vez, también se han visto forzadas a evolucionar para satisfacer a la creciente población y a sus demandas.

Para sustentar dicha evolución, la ciencia y la tecnología se han vuelto los pilares fundamentales que mantienen en constante cambio y mejora las técnicas utilizadas en cada campo. Ejemplos de esta fusión entre las técnicas ancestrales con los nuevos avances cada vez más revolucionarios de la tecnología son la bioingeniería genética (que mejora y agiliza el proceso de selección ‘natural’ de especies) o la elaboración de sistemas capaces de multiplicar la producción de los cultivos.

Es en este segundo ejemplo en el que se centra el objetivo de este proyecto: La creación de un invernadero sostenible.

La forma de cultivar plantas ha variado mucho desde los inicios de la agricultura. Inicialmente, cualquier sitio era bueno para probar a plantar cualquier planta y regar o rezar para que lloviera para que la planta diera frutos. Poco a poco la ciencia de la agricultura fue avanzando con la meta de aumentar la posibilidad de germinación de las plantas, la cantidad de frutos que éstas nos proporcionan y en mejorar su calidad. Este proceso evolutivo fue introduciendo paulatinamente los riegos controlados, la adecuación de la tierra, la selección de las plantas más resistentes y con más frutos, la especialización de las plantaciones y finalmente la optimización de todas las anteriores con el objetivo de generar el máximo beneficio posible por el mínimo coste.

Con esto último en mente, se crearon los invernaderos. Estructuras capaces de simular condiciones meteorológicas beneficiosas para los cultivos que pudieran permitir ampliar la cantidad de tiempo que un determinado cultivo puede estar produciendo en la medida de la vida útil de la planta. Todo esto aumenta drásticamente la cantidad de frutos que se pueden obtener al ampliar el tiempo en el que la planta se encuentra en estado de producción.

Los invernaderos, con el paso del tiempo, también han sufrido un proceso de mejora paulatino. Lo que comenzó siendo una forma de simular un terreno bajo unas condiciones de temperatura y humedad beneficiosas, ha pasado a permitir incluso el cultivo de plantas sin sustrato. O lo que es lo mismo, ya ni siquiera es necesario disponer de un suelo fértil en

el que realizar la plantación de algunos cultivos. Este tipo de cultivos son los cultivos hidropónicos.

Los cultivos hidropónicos suponen una ventaja sustancial respecto a sus predecesores ya que es posible aprovechar mejor el espacio disponible y además permite crear entornos mucho más especializados que se adecúan mejor a las condiciones específicas ideales para cada tipo de cultivo. Estos avances han conseguido aumentar mucho más la producción, llegando incluso a duplicar en algunos casos la producción de los sistemas más tradicionales. Al tratarse de unos cultivos altamente tecnológicos, permiten un estudio más preciso de las plantas además de la posibilidad de automatizar el cuidado de éstas de forma más eficaz. Si a la capacidad de automatizar el entorno y las condiciones de las plantas le añadimos que se tratan de cultivos altamente optimizados, esto reduce costes e introduce una posibilidad nueva y cada día más relevante y necesaria: La sostenibilidad.

La hidroponía en sí misma es una alternativa más sostenible al reducir las pérdidas de agua en los cultivos. Pero este índice de sostenibilidad puede mejorarse aún más al hacer que la instalación sea cada vez más autosuficiente, o lo que es lo mismo, que utilice energías renovables para satisfacer las demandas de consumo eléctrico generadas por los sistemas de control implementados en el invernadero.

Este proyecto gira en torno a ese concepto: un invernadero hidropónico sostenible y autosuficiente. A continuación, se detallan los pormenores del desarrollo, construcción y automatización de este invernadero para el cultivo objetivo de la fresa y el fresón en la provincia de Tarragona. Cultivo de alta calidad e importancia para el comercio catalán.

2 Estado del arte

2.1 Origen e historia de los Invernaderos

En el año 2009, el escritor Luis Sepúlveda, ganador de la decimotercera edición del Premio Primavera de Novela, destacó en una entrevista que era importante conocer el pasado para así comprender el presente y como resultado poder imaginar el futuro. Esta manera de pensar no era exclusiva de este autor, dado que podemos encontrar innumerables escritos que se han realizado en este sentido, como ocurre con el libro *The Conservatory: Gardens under glass* un libro que ilustra y describe la evolución de las estructuras por el mundo a lo largo de los años.

Según la obra mencionada, los inicios de los invernaderos se remontan hasta el siglo I d.C. gracias a los escritos de Gaius Plinius Secundus o Plinio el Viejo en su obra *Historia natural*, donde se recogían sus estudios e investigaciones. Plinio escribió que el emperador Tiberio Julio César Augusto necesitaba consumir, por recomendaciones médicas, plantas de la familia de los cucurbitáceas como podían ser melones o sobre todo pepinos. Existen registros que afirman que estos frutos se introdujeron a través del comercio en el puerto de Cartago Nova o encontrados en las expediciones y conquistas que se realizaron, dado que procedían en su mayoría del sur de Asia y de África.

Esto podía ocasionar un gran problema, dado que las condiciones climáticas en el Imperio Romano eran diferentes de las que soportaban estos frutos habitualmente en sus respectivas zonas. Para poder consumir estos alimentos, el emperador ordenó estudiar, diseñar y la construir un sistema de cultivo para estas nuevas plantas que permitiera producirlas durante todo el año. Es así como nació en la isla de Capri el primer invernadero que recibió el nombre de *Specularium* o *Specularia*, cuyo funcionamiento se basaba en cajones montados sobre ruedas que se movían en la dirección del sol durante los meses de verano y durante el invierno eran puestos bajo la cubierta de marcos vidriados de *Lapis specularis* o mica. Esta piedra se encontraba en las minas de Segobriga y tenían como cometido reflejar la luz solar en el interior durante el invierno.

Actualmente la facultad de ingeniería eléctrica y computación de la universidad de Zagreb (Croacia) está realizando un proyecto denominado: *SPECULARIA (Figura 1)*, financiado por la Fundación Croata de Ciencias (HRZZ). La idea surgió cuando un grupo de estudiantes y profesores de esa universidad quisieron crear un sistema que pudiera ayudar a los agricultores a cultivar productos orgánicos en interiores. El proyecto que se está desarrollando tiene como finalidad controlar cultivos ecológicos en el interior de una estructura mediante robots autónomos, basándose en el modelo que se utilizó en los primeros invernaderos romanos.



Figura 1. Imagen del proyecto SPECULARIA, basado en los antiguos invernaderos romanos. [1]

Como se ha podido ver anteriormente, varios hechos inconexos a simple vista provocaron que se generara una solución conjunta dado que, sin las recomendaciones médicas al emperador y la aparición de nuevos alimentos, no se hubiera llevado a cabo el proyecto de construcción del primer invernadero. Esta relación de “causa y efecto” surgió también después en la Europa del siglo XV.

Gracias a los escritos proporcionados por la Dr. Dafna Langgut, arqueobotánica licenciada de la universidad de Tel Aviv, podemos suponer que la primera naranja (*Citrus aurantium*) fue introducida por los árabes en el siglo X d.C. en Europa a través del mar Mediterráneo, y esparcidas por la península ibérica y alrededores por los musulmanes. Podemos saber gracias a los escritos de Plinio las características de esas naranjas, debido a que compartían propiedades con su antepasado la *Citrus medica*, que fue el primer cítrico que llegó a Europa y que tenía como característica principal su amargor y sus propiedades medicinales. La doctora también supone que la primera naranja dulce (*Citrus sinensis*) llegó a Europa a través de una ruta comercial en el siglo XV. Esta fruta tendría un gran valor para sociedad de aquel entonces gracias a la llegada del Renacimiento.

El Renacimiento fue un movimiento cultural y artístico que surgió en Italia en el siglo XIV, que tenía como principio resaltar la belleza y la estética de la época clásica. Uno de los elementos que recibió un gran auge gracias al Renacimiento fue la jardinería, debido a que comenzaron a aplicarse los primeros principios del paisajismo y empezaron a realizarse obras hidráulicas creándose así los jardines botánicos originales. Se sabe que esta corriente ideológica llegó a finales del siglo XV d.C. a la parte occidental de Europa, y junto a llegada de la naranja en aquella época dieron origen a las *Orangeries*.

Las *Orangeries* se originaron en Francia entre el siglo XVII y el XIX y eran habitaciones o edificios destinados a cultivar y proteger las naranjas y otros frutos del invierno, la más famosa de la época fue la *Orangerie de Versailles* (Figura 2), encargada por el rey Carlos VIII de Francia en el castillo de Amboise entre 1684 y 1688. Este tipo de estructuras se calentaban internamente por medio de chimeneas durante el invierno y estaban

hechas de piedra con pequeñas vidrieras que permitían el paso de la luz a su interior. Durante el verano, todas las plantas se trasladaban al patio exterior donde estaban expuestas a la luz solar. Actualmente se sigue utilizando el mismo método que se utilizaba en la antigüedad, pero ligeramente modernizado, sobre todo a la hora del transporte de los maceteros.



Figura 2. Vista del exterior e interior de la Orangerie de Versailles. [2]

Hasta entonces este tipo de invernaderos se asociaban a jardines con altas murallas hechas de piedra o ladrillo, con fines hortícolas y con la capacidad de crear microclimas. Además, las paredes contaban con bloques móviles que permitían controlar el movimiento del aire caliente. Se conoce que el primer invernadero en utilizar este método fue uno hallado en Italia, datado del año 1545. Actualmente todavía se pueden encontrar rastros de estos jardines, como puede ser el jardín renacentista del castillo de Edzell (Escocia), construido en el año 1600 (*Figura 3*).

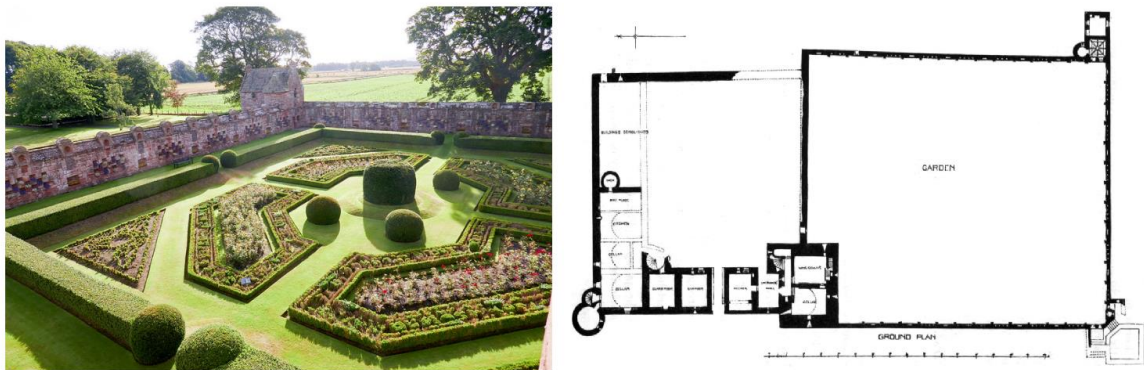


Figura 3. Vistas y plano de planta del jardín del castillo de Edzell. [3]

El mero hecho de usar este tipo de sistemas favorecía al crecimiento de todos aquellos frutos que estuviesen cerca de estas paredes (*Fruit walls*). Este hecho atrajo la curiosidad del botánico suizo Conrad Gessner y en 1561, durante una de sus investigaciones afirmó que estos muros no sólo protegían de los vientos y los animales, sino que también del calor del sol y de las fuertes heladas. Estos muros tenían la capacidad de generar microclimas locales más estables, dado que normalmente estaban fabricados de ladrillos o piedras, materiales capaces de absorber, retener y liberar el calor.

Hasta este punto se ha presentado un control de temperatura basado en chimeneas, movimientos de aire y por medio de fenómenos climáticos, aunque éstos no eran todos los métodos conocidos por la humanidad hasta entonces. Existen documentos que indican que en la zona de Corea se encontró los orígenes de un invernadero que utilizaba como sistema de calefacción el suelo radiante para completar el aislamiento, conocido por el nombre de ondol. El ondol (온돌) era un invento de origen coreano que fue introducido en el periodo de los Tres Reinos en el siglo IV y era semejante al hipocausto que se utilizaba el Imperio Romano o a la Gloria o la trébede que se utilizaba en Castilla en la época medieval. Su funcionamiento consistía en el desplazamiento de calor desde el fuego o la estufa hacia las rocas que se colocaban bajo el piso (*Figura 4*).

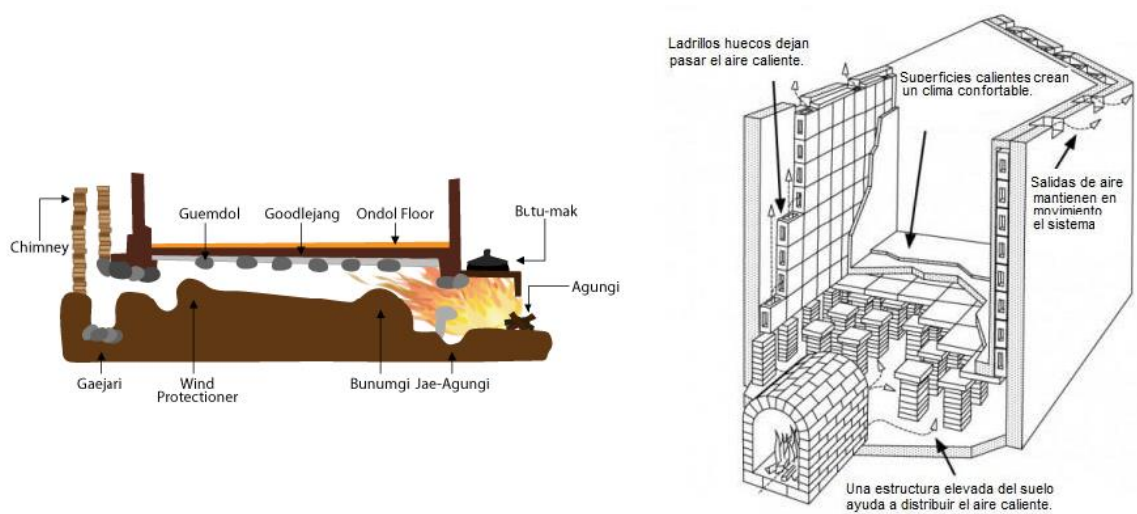


Figura 4. Ondol coreano (Izquierda) [4], Hipocausto romano (Derecha) [5].

Volviendo a Europa, en el siglo XIX comenzó una gran época destinada a la investigación en la que se incluían factores cercanos e importantes para la agricultura, todo esto se debió al inicio de la revolución industrial, surgida en Inglaterra durante el siglo XIX. Primero, las universidades en el año 1800 comenzaron a interesarse por el campo de la botánica, hecho que produjo la iniciación de varios estudios. En segundo lugar, encontramos los aumentos de producción y reducción de los tiempos de construcción, junto a las innovaciones en las estructuras de hierro y la fabricación de paneles de vidrio más grandes, innovaciones que incitaron al arquitecto Charles Fowler a la construcción del primer invernadero que cumplía estas características en el *Syon Park* de Inglaterra en 1820 (*Figura 5*).



Figura 5. El gran invernadero del Syon Park construido por Charles Fowler. [6]

Pasado el tiempo, Joseph Paxton (ilustrador, naturalista y paisajista inglés), también movido por estos descubrimientos, decidió diseñar el gran invernadero de *Chatsworth* en 1837, que tenía como innovación techos curvos que permitiesen mayor capacidad de absorción de luz y con la capacidad para drenar agua de la lluvia. Años después con el motivo de celebrar la *Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations* en 1851, se creó un concurso de diseños para la sede del evento y fue precisamente él quien presentó el diseño ganador, basado en el invernadero de *Chatsworth*. La sede recibiría el nombre de *Crystal Palace* y sería una de las mayores estructuras generadas con estructuras de hierro y paneles de cristal. Este tipo de composiciones arquitectónicas no sólo fueron las principales bases de las arquitecturas posteriores, sino que también fueron las precursoras de los invernaderos actuales (*Figura 6*).

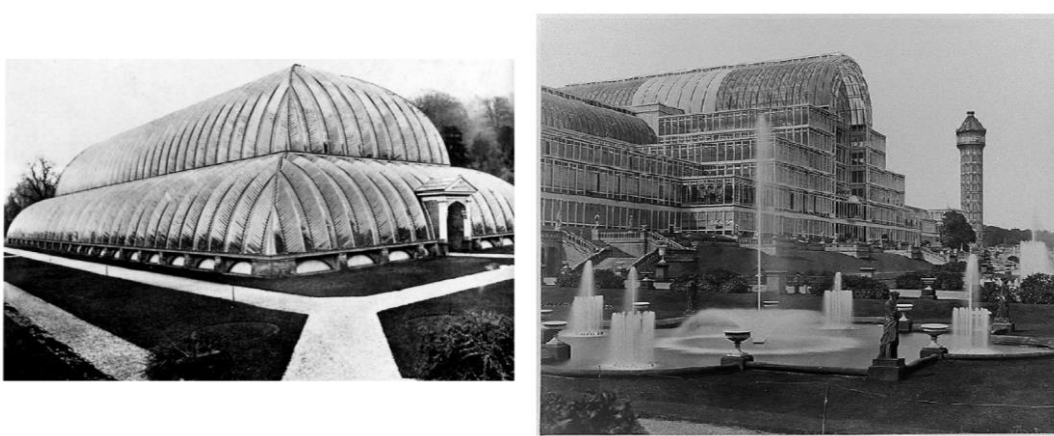


Figura 6. Gran invernadero de Chatsworth (izquierda) y Crystal Palace (derecha).

Gracias a este evento muchas naciones pudieron compartir y aprender nuevos conocimientos, hecho que les benefició a los neerlandeses, dado que fueron uno de los principales precursores de los invernaderos creados con estructuras de hierro y paneles de

vidrio (*Figura 7*). Además de eso, fueron los primeros en dejar de utilizar chimeneas y empezar a utilizar estufas, por las mejoras que ofrecían en el aumento de la temperatura. Los años venideros acarrearían fuertes problemas para este país, debido a que sufrieron fuertes desastres climáticos y se vieron forzados a desarrollar la normativa NEN 3859 sobre el año 1972, que trataba de la construcción de invernaderos y los sistemas de cultivos. Actualmente la conocemos como una de las potencias más fuertes a la hora de la creación de invernaderos y por sus novedosos métodos de control de temperatura, humedad y factores ambientales.



Figura 7. Invernadero neerlandés actual. [8]

Otros factores que ayudaron a la proliferación de los invernaderos fueron las investigaciones que se realizaron antes de la Segunda Guerra Mundial. Entre 1930 y 1940 los químicos comenzaron a crear diversos plásticos y métodos prácticos de fabricación; este hecho se aprovechó en los años siguientes creándose aislamientos para los cables eléctricos utilizados durante la guerra. Además de eso Susan Lambert, curadora jefa del Museo de Diseño en Plástico de la Universidad de Arte de Bournemouth en Inglaterra, afirmó a la BBC que esta invención contribuyó al resultado de la guerra.

Al acabar esta contienda hubo un fuerte crecimiento en la economía y producción, provocando una expansión del plástico en Asia y la zona del Mediterráneo. En esta última zona fue más grande el auge, gracias a este factor y al cambio climático que ocurrió en 1970, generando una mayor demanda y distribución de las cosechas. Toda esta producción hizo que la construcción de invernaderos en Almería, Murcia, Alicante y Granada aumentara, recibiendo el nombre de “Mar de Plásticos” (*Figura 8*). Actualmente España cuenta con un gran número de invernaderos y son unos de los mayores proveedores de cultivos de toda Europa, según uno de los informes de la CUTE (*Cultivating the Taste of Europe*), proyecto que reúne a un consorcio sólido formado por una asociación de Unión Europea y 5 asociaciones nacionales de frutas y hortalizas.



Figura 8. Vista de los invernaderos de Almería desde el espacio, el cielo y el interior. [9]

2.2 Factores previos al diseño y la construcción de un invernadero

En el apartado anterior se puede comprobar que a lo largo de la historia los invernaderos han sufrido una serie de modificaciones hasta llegar a los modelos actuales. Dependiendo del grado tecnológico y el uso que reciban, los invernaderos se pueden clasificar de diferentes formas, teniendo cada uno una serie de características propias. En este trabajo centraré mi estudio en los invernaderos de uso profesional o industriales, capaces de obtener un óptimo desarrollo y un máximo rendimiento de los cultivos gracias a su alto grado de tecnificación (*Figura 9*).



Figura 9. Ejemplo de invernadero industrial con autosuficiencia solar. [10]

Para la correcta construcción de un invernadero industrial hay que tener en cuenta una serie de factores (*Figura 10*) que nos ayuden a determinar el diseño más acertado y acotado a las especificaciones requeridas. Los factores para tener en cuenta son los siguientes:

- Factores geográficos: Investigaciones que tienen como centro de estudio verificar que las condiciones geográficas (Medio físico, Medio Biótico, etc.) sean adecuadas o afines para su construcción.
- Factores técnicos: Escritos que recogen los aspectos que se desean alcanzar con el proyecto: cultivos que se quieren plantar, dimensiones del emplazamiento, materiales de la construcción, etc.
- Factores socioeconómicos: Aspectos destinados en su mayoría a definir los recursos financieros iniciales y los técnicos disponibles.



Figura 10. Esquema que recoge los factores previos al diseño de un invernadero.

2.2.1 Factores geográficos

La climatología es la ciencia o la rama de la geografía y de las ciencias de la Tierra que se encarga de la investigación de los fenómenos meteorológicos y sus variaciones a lo largo del tiempo cronológico. De forma tradicional se considera la existencia de tres métodos de estudio diferentes: la climatología analítica, encargada de establecer los valores medios de los elementos atmosféricos y la probabilidad de alcanzar sus extremos; la climatología dinámica, encargada de proponer explicaciones matemáticas a los fenómenos atmosféricos con el uso de la mecánica de fluidos y la termodinámica; y la climatología sinóptica, encargada de descubrir las leyes empíricas e aumentar los conocimientos de éstas. Todos estos conocimientos son aplicados en varias actividades humanas, como puede ser la agricultura, conjunto de actividades económicas y técnicas relacionadas con el tratamiento del suelo y el cultivo de la tierra para la producción de alimentos.

En el libro: *Invernaderos Tecnologías apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)* compilado por Mario Pedro Lenscak y Norma Iglesias, de la editorial INTA Ediciones y de su colección INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN, el autor propone las pautas iniciales para el diseño e instalación de un invernadero en función de las características del territorio. En este apartado del libro se comenta que, para poder elegir correctamente el tipo de invernadero, la inclinación del techo y la orientación de la estructura; hay que fijarse en diferentes aspectos fundamentales.

2.2.1.1 Microclimas

Para un invernadero los factores como: la latitud, las corrientes marinas, la distancia al mar, la altitud, el relieve, los vientos predominantes y los elementos creados por la naturaleza son los factores que pueden afectar tanto a la estructura como al clima de su alrededor. Por ejemplo, si en la futura zona de emplazamiento del invernadero contamos con árboles o elevaciones del terreno, es probable que éstos ocasionen bajadas de temperatura gracias a las sombras proyectadas en él.

Las elevaciones del terreno como las montañas son capaces de afectar a los patrones de viento y tormenta. A consecuencia de esto, las nubes y la niebla pueden acumularse a ciertas horas del día en algunas zonas concretas, reduciendo así la luz solar y perjudicando la fotosíntesis de las plantas. Además, los vientos fuertes pueden causar daños a las estructuras y perjudicar la eficiencia térmica del invernadero. A su vez, hay que tener presente que el polvo y la arena pueden dañar el acristalamiento y los elementos tecnológicos en funcionamiento. Por último, grandes cantidades de nieve pueden afectar negativamente tanto a la integridad estructural del invernadero, como al mantenimiento de las condiciones óptimas para los cultivos y, por ende, amenazar así la productividad general del conjunto.

Toda esta información quiere dar a entender que las ubicaciones se tienen que estudiar detalladamente, dado que puede ocurrir que por algún factor determinado tengamos dos o más climas diferentes en una misma zona geográfica. Un ejemplo claro podría ser Granada (España) en menos de 100 kilómetros, pasa de un clima de alta montaña en Sierra Nevada a las suaves temperaturas que encontramos en la Costa Tropical.

2.2.1.2 Radiación solar

El concepto de radiación solar puede tener dos enfoques diferentes, aunque gracias a su similitud normalmente se suelen confundir como uno solo. O bien se asocia al efecto sobre la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa por el ángulo de incidencia que tenga según la orientación del techo, o bien como el reparto de la radiación sobre el área de los cultivos según el sentido en el que se hayan plantado.

Científicamente hablando, la transmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo (potencia), y gracias al artículo “Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires”, se puede saber que la relación entre la radiación solar global y la radiación fotosintéticamente activa (región del espectro solar cuya longitud de onda está comprendida entre 0,40 y 0,70 μm) tiene un comportamiento lineal.

En la tesis *Medición de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en planos con diferentes orientaciones, mediante el desarrollo y ensayo de un disipativo ad hoc, y verificación de modelos* se afirma que el PAR es la encargada de excitar a las moléculas de clorofila e iniciar el flujo de energía requerido en la fotosíntesis. Aunque según la tesis “Estudio y modelización de la radiación fotosintéticamente activa” se confirma que no basta sólo con la componente directa de la radiación, sino que también es necesario conocer la componente difusa, ya que en algunas situaciones es ésta la que activa el proceso de la fotosíntesis. La relación que existe entre la sensibilidad espectral relativa y la longitud de onda se recoge en la *Figura 11*.

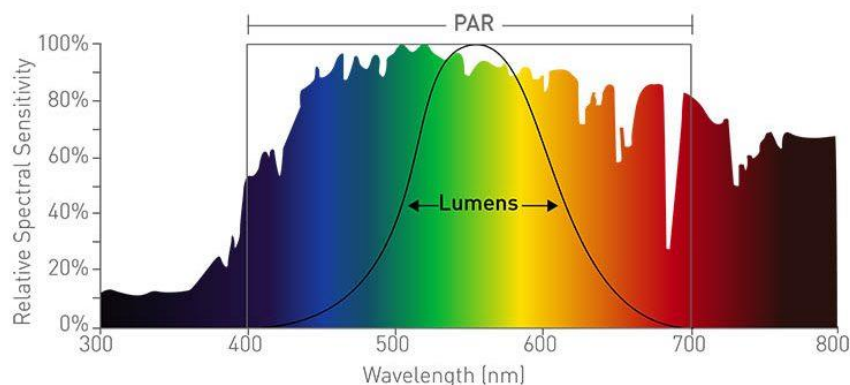


Figura 11. Relación entre la sensibilidad espectral relativa y la longitud de onda. [11]

Un pigmento fotosintético es un lípido unido a proteínas localizadas en algunas membranas plasmáticas, con la capacidad de aprovechar la luz para iniciar reacciones químicas y poseer color gracias a sus enlaces. Como ejemplo de estos pigmentos podemos encontrar: la clorofila, los carotenoides, la ficocianina, la ficoeritrina y la bacterioclorofila; y todos ellos funcionan absorbiendo la luz procedente de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

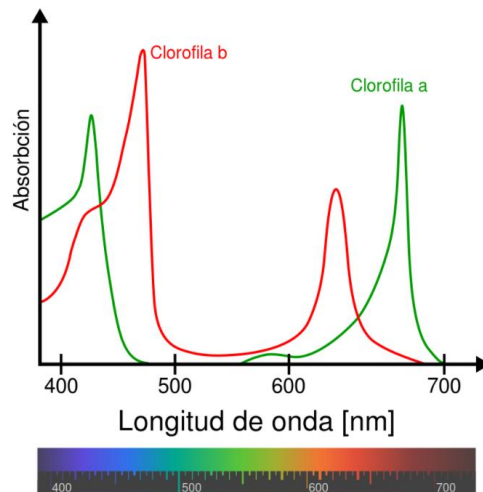


Figura 12. Relación entre la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la absorción de clorofila a y b en las plantas.[12]

Como se puede apreciar en la *Figura 12*, ambas clorofilas tienen una mayor absorción cuando reciben una longitud de onda aproximadamente entre 400-495 nm (luz azul) y entre 620-750 nm (luz roja). Esto se debe a que ambas luces corresponden a los puntos críticos de absorción, provocando un mayor crecimiento vegetativo¹ y fortalecimiento de las hojas (luz azul); y regularizando el florecimiento y producción de frutos (luz roja) (*Figura 13*). Los beneficios e información más relevante de la luz sobre las plantas se pueden ver en el estudio “Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores” realizado por un grupo de ingenieros colombianos.



Figura 13. Invernadero iluminado mediante luces LED rojas y azules. [13]

¹ Proceso en el cual las plantas gastan la mayor parte de su energía en el crecimiento de sus hojas y tallos, dejando de lado y perjudicando a la producción de frutos.

2.2.1.3 Latitud y elevación del terreno

La radiación solar puede verse modificada según la latitud y la época del año (día, mes y hora) en la que nos encontremos. Esto es un factor para tener en cuenta a la hora de escoger el emplazamiento del invernadero dado que, algunas localizaciones y situaciones pueden agravar la captación de la radiación solar, siendo los más problemáticos los meses de invierno en las regiones de altas latitudes. Además de lo mencionado, la radiación solar también depende de los movimientos de rotación y traslación que realiza la Tierra, y de la distancia sobre la eclíptica² que exista entre el Sol y nuestro planeta en ese momento (*Figura 14*).

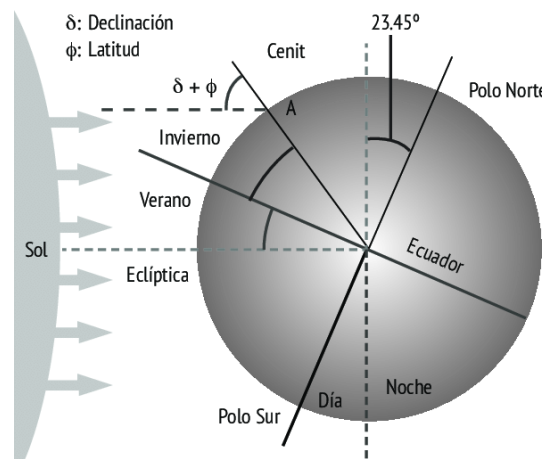


Figura 14. Declinación solar. [14]

Los problemas asociados a las elevaciones del terreno suelen estar relacionados en su mayoría con las temperaturas ya que, cuanto más elevada sea la situación del emplazamiento peores condiciones tendrá, alcanzando temperaturas muy elevadas en verano y temperaturas muy bajas en invierno. Dependiendo del grado tecnológico del invernadero se aconseja tener unas características adicionales, siendo las más comunes: controles de temperatura mediante sensores, sistemas de riego automático que actúen en consecuencia, la construcción basada en una estructura rígida y uso de ventilación automática.

2.2.1.4 El viento

Uno de los aspectos que se debe tener en cuenta a la hora de la construcción de un invernadero es la protección contra las características no deseadas del viento, con el fin de crear un ambiente adecuado para el cultivo de las plantas. La fuerza ejercida por el viento sobre un invernadero se puede conocer gracias al producto matemático entre el área de oposición y la presión que éste ejerce. Para hacer que esta fuerza sea menor, se debe reducir

² La línea curva por donde “transcurre” el Sol alrededor de la Tierra, en su “movimiento aparente” visto desde la Tierra.

alguno de estos factores, y la mejor forma de hacerlo es disminuyendo la velocidad del viento mediante estructuras disipadoras de energía, dado que la presión es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del viento.

El sistema de defensa más difundido frente al viento es el uso de cortavientos, que además de ser imprescindible para disminuir los posibles daños eventuales, se debe realizar un diseño y adecuada implementación acorde a la situación y condiciones climáticas. Existen dos tipos de cortavientos: los cortavientos naturales o arbóreos y los cortavientos artificiales, como por ejemplo con mallas de tipo raschel, que cuentan con diversas características según la función por la cual vayan a usarse.



Figura 15. Ejemplo de cortavientos natural [15] y artificial [16].

Por un lado, las cortinas cortavientos arbóreos o naturales (*Figura 15*) son sistemas diseñados para la protección de los cultivos agrícolas fundamentalmente, aunque también tienen uso en ganado, infraestructuras y recursos naturales extraídos del suelo especialmente. La protección que ofrecen se basa en el establecimiento de una o varias hileras de árboles colocadas de forma perpendicular al viento, con el fin de minimizar o mitigar su intensidad. Un aspecto positivo en la utilización de este tipo de cortavientos es la posibilidad de utilizarse como forma de limitar terrenos; y con un manejo adecuado de los árboles se podrían obtener productos maderables y/o no maderables.

Por otro lado, las cortinas cortavientos artificiales (*Figura 15*) tienen diferentes tipos y la elección del material depende de la zona en la que se vaya a instalar y de los cultivos que vayan a ser plantados, dado que ciertas plantas justifican el uso de cortinas compactas o sólidas, como pueden ser todos aquellos cultivos que requieran de un drástico frenado del viento. Aunque normalmente los cortavientos artificiales tengan un alto coste se suelen utilizar mucho en cultivos que tengan una alta rentabilidad. Por ejemplo, se suelen utilizar mallas plásticas en cultivos de kiwi o lúpulo.

Otro factor para tener en cuenta a la hora de construir un invernadero es el código técnico de la edificación (CTE), en el que se encuentra el Documento Básico “Seguridad Estructural Acciones en la edificación” o (DB SE-AE), donde se pueden consultar todas las

normativas y acciones que se deben emplear a nivel nacional para la realización de una construcción en regla. Para el estudio de los vientos se debería tener presente el apartado 3.3 del documento ya mencionado.

2.2.1.5 Precipitaciones

En general las precipitaciones no causan un efecto directamente en el cultivo; sin embargo, sus características sí afectan directamente al diseño del invernadero. Según su manifestación podemos dividir las en dos tipos: precipitaciones líquidas y precipitaciones sólidas.

Las precipitaciones líquidas se manifiestan de tres formas diferentes: llovizna, lluvia y chubascos de agua. La principal diferencia entre ellas es el diámetro y la velocidad terminal, siendo ésta la velocidad máxima que alcanza un cuerpo moviéndose en el seno de un fluido infinito bajo la acción de una fuerza constante. La relación entre el diámetro y la velocidad terminal es directamente proporcional, dado que cuanto más grande sea su diámetro, más elevada será la velocidad.

De entre todas las manifestaciones que puede tener la lluvia, los chubascos de agua son los más peligrosos al nacer de cumulonimbos. Este tipo de nubes se conocen por su gran desarrollo vertical generado por movimientos convectivos y por la capacidad que tienen de crear turbulencias tanto fuera como dentro de la nube. Todo esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de construir un invernadero para establecer un diseño y una construcción adecuada, ya que la estructura del invernadero debe ser capaz no sólo de aguantar su propio peso, sino también de soportar las cargas producidas por los fenómenos atmosféricos.

Las precipitaciones sólidas se pueden clasificar de dos formas: granizo y nieve. Por un lado, el granizo se forma gracias a las corrientes ascendentes convectivas que producen los cumulonimbos; y dependiendo del diámetro que tenga se pueden distinguir tres tipos: granizo blando, cuando es inferior o igual a 5 mm; granizo duro, si está comprendido entre 5 mm y 2 cm; y pedrisca, cuando superan los 2 cm. Conocer qué tipo de granizo es común en la zona del emplazamiento del invernadero es muy importante, dado que dependiendo del tipo se necesitará colocar cubiertas antigranizo.

Por otro lado, la nieve es un fenómeno meteorológico que solamente surge cuando existen temperaturas bajas y una humedad concreta en la atmósfera. La nieve es un conjunto de cristales con diferente geometría, formados gracias a la acumulación de gotas de agua, que tienen el suficiente peso para caer. En la naturaleza podemos encontrar dos manifestaciones diferentes de la nieve común: los chubascos de nieve, que son más copiosos que una nevada ordinaria; y la nieve granulada, que suele compararse al granizo blando por su fragilidad. También es muy importante conocer este factor dado que, a la hora de la

construcción de un invernadero se debe calcular previamente la sobrecarga de nieve, siguiendo la normativa CTE DB SE-AE (3.5.1 y Anejo E).

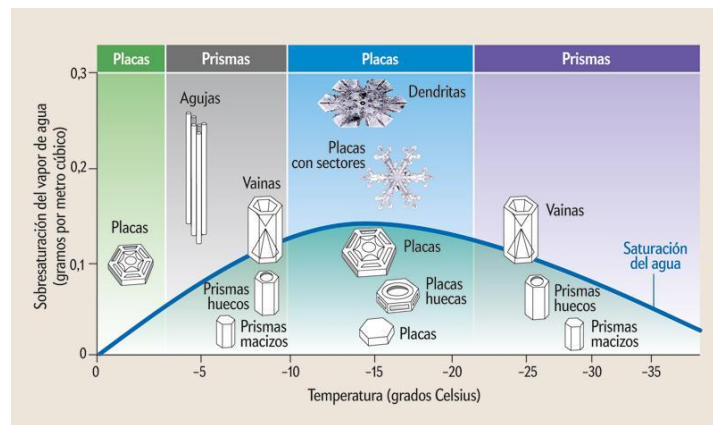


Figura 16. Relación temperatura en °C y sobresaturación del vapor de agua gm^3 . [17]

Para finalizar un estudio correcto de las precipitaciones se debe conocer no sólo las manifestaciones que presentan, sino también sus orígenes, dado que dependiendo de la localización podemos estar bajo unos efectos u otros (*Figura 16*). Los orígenes de las precipitaciones pueden ser los siguientes:

- **Precipitaciones orográficas:** se producen cuando el aire choca con la ladera de una montaña y se ve obligado a ascender. Al ascender se enfría y se originan precipitaciones. Posibles zonas de riesgo: regiones montañosas.
- **Precipitaciones convectivas:** tienen lugar cuando el aire que se encuentra sobre la superficie terrestre se calienta mucho, se hace más ligero y asciende. En su ascenso se enfría y provoca precipitaciones. Posibles zonas de riesgo: zonas templadas en verano o próximas al Ecuador.
- **Precipitaciones frontales:** se originan cuando entran en contacto dos masas de aire a distintas temperaturas. La diferencia de temperatura genera movimiento entre las masas creando las precipitaciones. Posibles zonas de riesgo: regiones templadas del planeta.

2.2.1.6 Temperatura

Cuando hablamos de la temperatura de un invernadero se debe especificar a cuál de los conceptos se refiere, dado que, aunque en primera instancia parezca que se hable de lo mismo, cada concepto tiene asociada una serie de estudios o campos diferentes.

Por un lado, podemos hablar de la temperatura interna o ambiental, que es la que está asociada a los campos de la naturaleza (botánica y horticultura) y campos que pueden

facilitar esta labor (electrónica, automática, química, etc.). Por otro lado, existen otros conceptos de temperatura (temperatura externa, temperatura de los materiales, etc.) asociados a otros elementos, como pueden ser todos los relacionados a los campos de: arquitectura, física o climatología.

La temperatura interna o ambiental de un invernadero es un factor muy importante de la actividad metabólica, el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este tipo de temperaturas son determinantes, ya que si no se logran mantener constantes y en un rango óptimo se puede llegar a ralentizar y comprometer el nivel y la calidad de la producción. Es por este motivo, que la mayoría de los invernaderos actuales para evitar todos estos inconvenientes optan por construirlos con un elevado nivel tecnológico.

Para entender bien la complejidad del concepto, se debe conocer previamente la diferencia entre calor y temperatura. Por culpa de un mal uso del lenguaje, las personas suelen relacionar los dos términos como sinónimos, pero esta asociación sería incorrecta ya que son dos conceptos diferentes. Se define como calor al movimiento o intercambio de energía entre cuerpos, mientras que la temperatura es la medida de la agitación de las moléculas de un cuerpo, es decir, tendremos un cambio de temperatura en un cuerpo si hay una transferencia de calor. Dicho esto, podemos definir varios elementos que generen una ganancia o una pérdida de calor al invernadero (sol, ventilación, estructura, transpiración del cultivo, suelo, etc.).

La diferenciación de estos dos conceptos es muy importante, debido a que para lograr un correcto diseño de un invernadero se tiene que realizar un balance de energía (*Figura 17*) de todos los elementos basándose en un modelo dinámico. La utilidad de un balance energético es muy elevada para muchos trabajos, ya que ayuda a contabilizar los aportes y consumos de energía que esté produciendo el sistema que se esté estudiando.

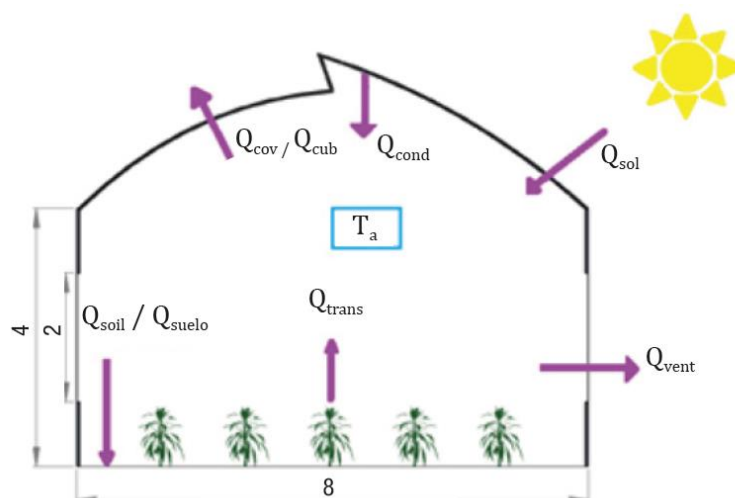


Figura 17. Ejemplo de un modelo dinámico de balance de energía de un invernadero.[18]

Una de las formas más comunes para reducir la temperatura ambiental es el uso de mallas de sombreo en el interior (*Figura 18*), conocidas por disminuir la cantidad de energía solar que entra a través de los cristales o láminas de plástico que tenga el invernadero. Están fabricadas con distintos tipos de tejidos aislantes y según las condiciones climáticas son una excelente opción por su durabilidad y rendimiento.



Figura 18. Invernadero que usa una malla de sombreo para bajar las temperaturas.[19]

2.2.1.7 Accesos de agua y riego

A la hora de localizar el emplazamiento de un invernadero debemos tener presente que necesitamos accesos de agua para nuestros cultivos. Para poder abastecer al invernadero del agua necesaria se debe instalar una bomba sumergible en el caso de que exista una acequia³ en la parcela, o bien contactar con una empresa de gestión de agua y realizar las instalaciones oportunas (*Figura 19*). Los elementos necesarios para la instalación de agua en un invernadero son los siguientes:

- Una acometida general que ayude a enlazar la red general instalada en la calle, deposito o embalse con la instalación interna general del invernadero.
- Un contador que mida, registre e indexe el volumen de agua en metros cúbico que pase a través de él.
- Una llave de paso para abrir o cerrar el paso del agua por las tuberías y accesorios para el sistema de riego (difusores, aspersores, etc.).
- Una bomba hidráulica que permita el movimiento del agua por las instalaciones. Los factores más importantes a la hora de escoger un modelo son el caudal y la presión.

³ Zanjas o canales por donde se conduce las aguas para regar y para otros fines.

- Una serie de cañerías y elementos que faciliten el flujo del agua. Todas deberán seguir la normativa UNE con respecto a la tolerancia, características mecánicas y condiciones técnicas de suministro.
- Un sistema de filtrado para purgar de las posibles partículas sólidas que puedan encontrarse en el agua, con el fin de proteger la salud del cultivo y las condiciones de las tuberías.
- Electroválvulas, caudalímetros y manómetros para regular y controlar el fluido por los diferentes puntos del sistema.
- Tanques de almacenamiento del agua (salmuera, alimentación, destilada, etc.).

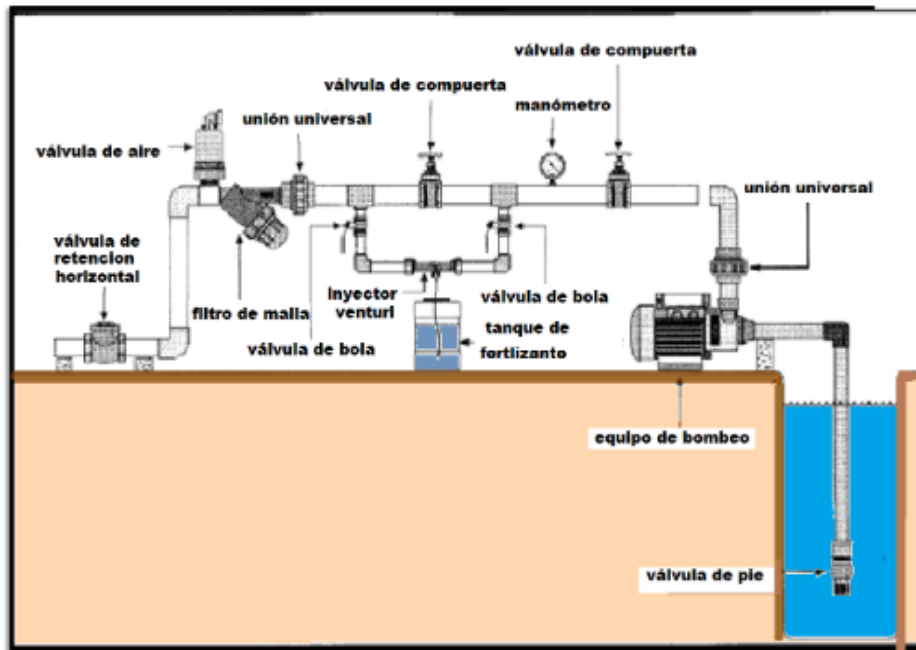


Figura 19. Ejemplo de un esquema de los elementos y equipamiento necesario de un sistema de riego.[20]

La normativa vigente que se debe seguir en la instalación de agua y riego de un invernadero es la siguiente:

- RITE. Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, RD 1027/2007
- CTE. Código Técnico de la Edificación, RD 314/2006
- Norma Básica de Instalaciones Interiores de Agua del Ministerio de Industria y Energía. Orden del 9 de diciembre de 1975.
- Documentos del apartado “Material de riego” del sitio web del ministerio de agricultura, pesca y alimentación.

Cuanto más grande sea el grado tecnológico del invernadero mayor será el número de elementos de que dispondrá, llegando a tener sistemas que controlen y regulen la temperatura del agua, hasta sistemas de fertirrigación⁴.

Uno de los factores que determinan el éxito de la producción de los cultivos en viveros e invernaderos es la calidad del agua del riego. Por eso se recomienda realizar un análisis completo del agua en laboratorios acreditados antes de la compra de cualquier propiedad y realizar pruebas periódicas. También se aconseja que un operario analice y compruebe los parámetros del agua (pH, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica) de forma regular, mediante un conjunto de pruebas de calidad del agua. Llevar un registro de los resultados de las pruebas es un factor fundamental para poder detectar los cambios a lo largo del tiempo.

El riego en la agricultura consiste en aportar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas, con el fin de incrementar la producción agrícola y mejorar las condiciones del suelo. Los tipos de riego en los invernaderos que se conocen son los siguientes:

- **Riego por aspersión:** Sistema de riego que simula la lluvia usando agua a presión y repartiéndola por todo el terreno mediante aspersores.
- **Riego por goteo:** Forma de riego que consiste en dejar caer gotas de forma continua en los cultivos, en sitios estudiados, mediante tuberías perforadas.
- **Riego por microaspersión:** Sistema semejante al riego por aspersión, pero que requiere menor caudal de agua.
- **Riego hidropónico:** Forma de riego más eficiente por el aporte de nutrientes a las raíces.
- **Riego por nebulización:** Método de riego que se basa en refrescar el ambiente mediante el agua evaporada que se forma cuando lo pulverizas en el aire.
- **Riego por gravedad o por superficie:** Riego que distribuye el agua por canales o surcos con pendiente leve.
- **Riego por inundación:** Forma de riego que consiste en inundar la zona de cultivo de forma total o parcial.

Para saber qué tipo de riego es el más indicado para un invernadero se debe tener en cuenta una serie de factores: la eficiencia, el tipo de terreno y cultivo, el precio, el tipo de instalación, la posibilidad de automatizarlo, los efectos sobre el entorno, el consumo y la capacidad de adaptación. A continuación, se muestra un gráfico (*Figura 20*) sobre la

⁴ Técnica de aplicación de abonos disueltos en el agua de riego a los cultivos.

eficiencia que proporciona cada tipo de riego, generado a partir de los datos recogidos por la empresa Jacto, empresa de productos agrícolas y servicios de alta tecnología.

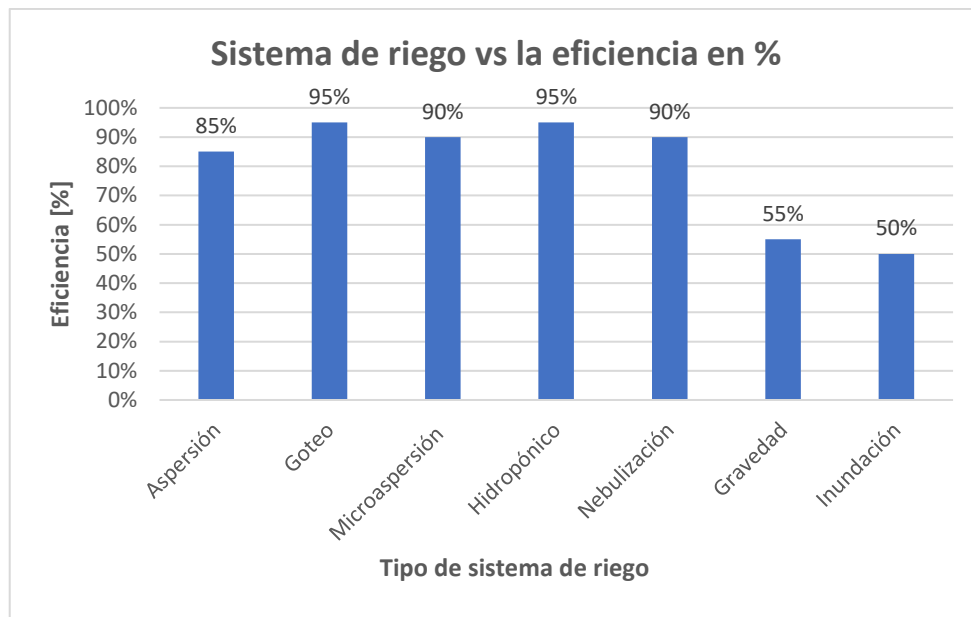


Figura 20. Relación entre el tipo de riego y la eficiencia que proporciona según la empresa Jacto. [21]

2.2.1.8 Ventilación

En apartados anteriores se ha subrayado la importancia de conocer las temperaturas de un invernadero y los posibles problemas que podrían generar. A continuación, hablaré de la ventilación como una de las posibles soluciones a estos inconvenientes.

En el campo de la arquitectura se conoce a la ventilación como el proceso en el cual se renueva el aire del interior de una edificación mediante la extracción o inyección de aire, con el fin de asegurar una serie de características y proteger a un colectivo determinado. Dentro de este campo se conocen varios tipos de ventilación, pero en un invernadero industrial se ponen en práctica sólo dos: la ventilación natural y la ventilación forzada.

Entendemos como ventilación natural toda aquella ventilación que se realice mediante una adecuada ubicación de: superficies; pasos o conductos, que aprovechen las depresiones o sobrepresiones creadas en el edificio por el viento; la humedad; el sol; y la convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno que no aporte energía al sistema. Los métodos de ventilación natural que existen son la cenital (ventanas situadas en el techo del invernadero) y la lateral (ventanas situadas en un lateral o pared de un invernadero) (*Figura 21*).



Figura 21. Ejemplo de invernadero con ventilación natural cenital y lateral. [22]

La ventilación forzada o mecánica es toda aquella ventilación que se realice por medio de creaciones artificiales de depresiones o sobrepresiones en conductos de distribución de aire o áreas del edificio; es decir, el principio de esta ventilación es crear un flujo de aire a través del invernadero. De este tipo de ventilación se conocen dos tipos de sistema: uno basado en la admisión del aire y el otro basado en su extracción, en la que normalmente se usan ventiladores (*Figura 22*).



Figura 22. Ventilación forzada de un invernadero. [23]

En el artículo “Ventilación natural y forzada de invernadero de tipo Almería y su relación con el rendimiento de tomate” se realiza un estudio sobre los efectos de la ventilación en los cultivos del tomate, donde entre otras cosas se indican las ventajas e inconvenientes del uso de cada uno. Por un lado, la ventilación natural es la opción más económica y la menos dañina para el medio ambiente; aunque utilizando esta opción es más probable que se llegue a sufrir un decremento del índice de ventilación, generándose así problemas de enfermedades y disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos. Por el otro lado, la ventilación forzada es la más usada en las producciones en masa por sus óptimos resultados, precisión y eficiencia, a cambio de un alto coste económico (electricidad, mantenimiento, reposición, etc.).

2.2.1.9 Humedad

Cuando hablamos de la cantidad de agua impregnada en un cuerpo o del vapor presente en la atmósfera estamos hablando de la humedad. Dentro de este concepto se pueden encontrar diferentes subdivisiones dependiendo del centro de estudio (aire, suelo, alimentos o materiales de construcción). Dependiendo del tipo de proyecto que se esté realizando se deberían tener en cuenta una o varias de estas subdivisiones, pero para la construcción de un invernadero industrial se deberían estudiar todas.

Humedad de los materiales de construcción

El primer problema con la humedad lo encontramos en los materiales de construcción, dado que no todos los materiales tienen las mismas características. Los dos hechos más importantes que se deben conocer son los siguientes:

- Cuanto más contenido en humedad tenga, menor será la resistencia que presente ante el calor.
- Si el material usado tiene un alto contenido en humedad y se ha producido una helada, mayor será el desmenuzamiento que sufrirá la pieza, provocado por la congelación del agua.

Humedad de los alimentos

En el caso de contar con un invernadero que esté destinado a la producción de alimentos, se debe tener presente la cantidad de humedad que se encuentra en los productos. Para saber si un alimento cuenta con una cantidad de aspectos determinados (humedad, grasas, proteínas, cenizas, fibra, carbohidratos solubles) se tiene que realizar obligatoriamente un Análisis Químico Proximal o Análisis Proximal de Weende. Si no se realiza este análisis para comprobar las condiciones de un producto, desconoceríamos su calidad, sus cualidades organolépticas⁵ y nutricionales. En caso de no pasar este análisis y/o las normas que se enumeran a continuación, no se podrá comercializar el producto generando así una gran pérdida económica.

-La Ley 17/2011, de 5 de julio, de seguridad alimentaria y nutrición del BOE.

-El documento BOE-A-2021-1052, Núm. 115, Sec. III, Pág. 51613.

⁵ Las propiedades organolépticas son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene un material, según las perciben nuestros sentidos.

-La ISO 22000, Segunda edición 2018-06, Sistemas de administración de la inocuidad/seguridad de los alimentos – Requerimientos para cualquier organización en la cadena alimentaria.

Humedad del suelo

Es la cantidad de agua que contiene el suelo al extraerse. La mejor forma de conocer el contenido en humedad en un suelo consiste en tomar muestras del terreno en una serie de periodos determinados. Para estudiar este fenómeno normalmente se suelen realizar dos gráficos que representen la retención de humedad y la conductividad hidráulica (*Figura 24*).

A continuación, se muestran dos figuras extraídas de la tesis *Influencia del uso del Suelo en la Respuesta Hidrológica de Cabecera en los Andes Centrales de Colombia* de Guillermo Vazquez – Velasquez, profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. En este estudio se examinan las condiciones de humedad del suelo central de los Andes en: un bosque natural (BN), pastura (PA) y la plantación forestal (PF).

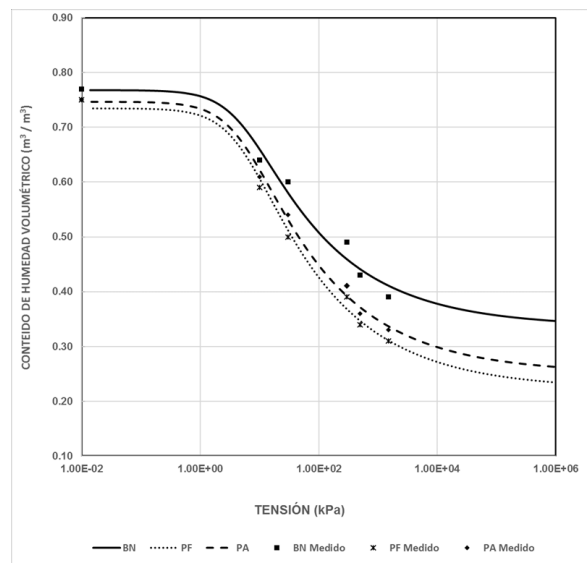


Figura 23. Ejemplo de curva de retención de humedad del suelo. [24]

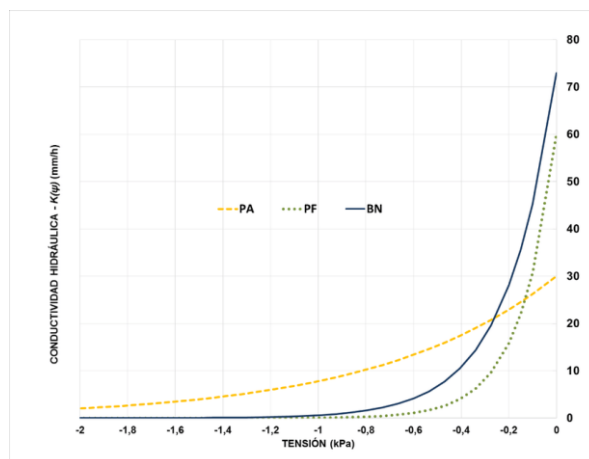


Figura 24. Ejemplo de curva de la conductividad hidráulica. [24]

En la primera curva se muestra la evolución que tiene el contenido en agua con la succión del suelo (*Figura 23*).; y la segunda muestra la variación de la conductividad hidráulica, desde el punto de saturación hasta agua higroscópica⁶, con la succión o el contenido en agua (*Figura 24*).

Un exceso de humedad en el terreno puede provocar una deficiencia de oxígeno en las plantas, causando así la pudrición de los pelos radicales; y con ello una reducción de la absorción de nutrientes. En caso de no detectarse a tiempo este problema, las plantas y el terreno podrían verse gravemente perjudicados, hasta el punto de sufrir daños irreversibles. Si se llegara hasta ese punto, se deberá seguir y aplicar la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, para tratar los biorresiduos formados. Para poder tratar suelos agrícolas contaminados se debe obtener la autorización para la operación del tratamiento de residuos R10 “Tratamiento de los suelos que produzca un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos”, en cumplimiento de lo establecido por el mismo artículo.

Humedad del aire

Por último, la humedad en el aire es un factor climático que es necesario saber para obtener una adecuada sanidad y desarrollo de los cultivos de un invernadero. Para mejorar las condiciones de un cultivo se debe controlar perfectamente los tres factores relacionados con la humedad del aire: la humedad relativa, la humedad absoluta y el punto de saturación. La primera, es la relación que existe entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a cierta temperatura; la segunda, es la cantidad de vapor de agua por m³ de aire; y la última, es la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire a una determinada temperatura.

⁶ El agua higroscópica o molecular es la fracción del agua absorbida directamente de la humedad del aire.

El aire del invernadero se enriquece de vapor de agua proveniente del suelo y de la transpiración de las plantas. Hecho que se considera como un arma de doble filo, ya que es favorable para las zonas que tienen una baja humedad relativa, pero perjudicial para zonas con elevada humedad.

Por un lado, si la humedad en el aire es excesiva se dificulta la evaporación y la fotosíntesis disminuye por menos fijación de CO₂, aumentando la temperatura del aire considerablemente. Por otro lado, si es escasa la humedad en el aire aumenta la transpiración dificultándose así la fotosíntesis. Para corregir estos problemas y controlar la humedad se debe disminuir o aumentar la ventilación para evitar valores muy bajos o altos y cercanos al punto de rocío, y disminuye o aumenta la temperatura para hacer que el aire se vuelva más seco o húmedo.

Según la empresa Nutricontrol, empresa dedicada a la investigación y desarrollo tecnológico de equipos de control y automatización de riegos para invernadero e instalaciones al aire libre, dependiendo del vegetal o planta que se vaya a cultivar dentro de un invernadero se deberá tener en cuenta unos valores de humedad relativa u otros, aunque normalmente los valores oscilan entre el 60 - 70%.

HUMEDAD RELATIVA PARA DISTINTAS ESPECIES (%)						
						
HR MINIMA	40	50	45	60	60	60
HR OPTIMA	50	60	55	75	65	65
HR MAXIMA	60	70	70	90	75	75

www.nutricontrol.com
 Tel: +34 968 123900 • Fax: +34 968 320082 • E-mail: nutricontrol@nutricontrol.com

Figura 25. Ejemplos de humedades relativas para distintas especies en % según la empresa Nutricontrol.[25]

2.2.1.10 Orientación

Si orientamos el invernadero según la radiación solar que reciba

Por un lado, se tiene que saber que la cumbre⁷ de una estructura de un invernadero está orientada normalmente de este a oeste, debido a que se favorece la captación de la radiación y la capacidad de acumular calor en el suelo del invernadero, incrementando así el balance de energía. Por otro lado, si la estructura va a situar en una latitud de entre 30-35° se debe tener en cuenta que la radiación se va a ver limitada durante los meses de otoño e invierno; además, las temperaturas no serán muy recomendadas para la cultivación de plantas hortícolas. Por estos motivos, también se debe construir la estructura del invernadero en sentido este a oeste, como el invernadero a de la *Figura 26*.

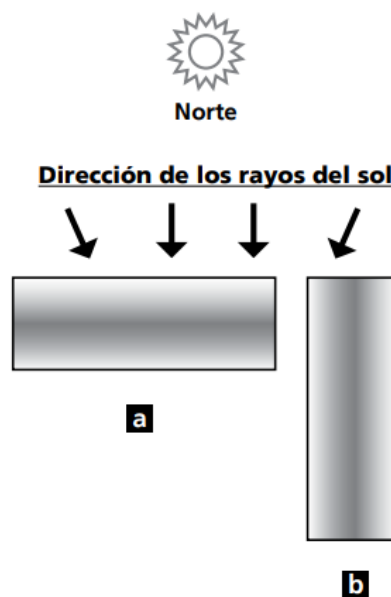


Figura 26. Orientación de un invernadero según la radiación solar. [26]

Si orientamos el invernadero según la dirección del viento

Se tiene que saber que cuando la presión del viento se convierte en un factor de riesgo para la estructura del invernadero, obligatoriamente se tiene que ubicar las cortinas del cortaviento con el eje mayor perpendicular a los vientos predominantes. En el caso del invernadero, su eje mayor tendrá que orientarse de manera que coincida con la dirección de los vientos predominantes, sobre todo en las zonas donde la estructura se vaya a ver fuertemente perjudicada. Esta disposición ayuda a reducir la presión que ejerce el viento, permitiendo una mayor resistencia, como se puede ver en el invernadero “a” de la *figura 27*.

⁷ Línea horizontal que forma la intersección de los dos faldones de una cubierta.

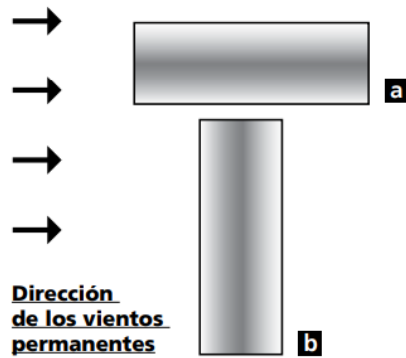


Figura 27. Orientación de un invernadero según la dirección del viento. [26]

2.2.1.11 Plagas y enfermedades del cultivo

Alcanzar unas condiciones ambientales favorables para que las plantas de un invernadero se desarrollen de una forma sana es el objetivo de los invernaderos. Aunque al conseguir esas condiciones tan buenas no sólo favorecemos la vegetación, sino que indirectamente también apoyamos el desarrollo y presencia de las plagas. Esto se considera un problema muy grave debido a que las plagas y las enfermedades pueden acabar con la totalidad del cultivo en muy poco tiempo sin la posibilidad de conseguir revertir la situación.

Las plagas o enfermedades son de los problemas más grandes con los que tienen que lidiar los productos del sector agrario. Para que éstas se presenten necesitan tres factores: tener un lugar que habitar como cultivos o arvense (hospedaje), una causa (plaga o patógeno) y condiciones favorables para su desarrollo (humedad, temperatura, etc.).

La enfermedad más común en los invernaderos es la aparición en las plantas de *Botrytis cinerea* o moho gris en las plantas (*Figura 28*), considerado como un hongo patógeno y necrotrófico que ataca todo lo que se cultive en interiores (invernaderos o estancias interiores). Esta enfermedad ataca las hojas, los tallos y las flores directamente dejándolas con una película de moho. En caso de no tratarlas, el hongo pudre la planta por completo dejándola incomedible y como fuente de infección para las plantas de alrededor. En caso de darse cuenta de su aparición a tiempo, se podría solucionar el problema simplemente eliminando las partes infectadas y ventilando el invernadero.



Figura 28. Cultivos afectados por *Botrytis cinerea*. [27]

Las plagas más frecuentes en los invernaderos son tres: la mosquita blanca, el minador de hojas y los insectos trips. Existen más enfermedades y plagas de cultivos, pero las más comunes en invernaderos de uso industrial son las mencionadas. A continuación, se expondrá brevemente la descripción, la forma de detectarlas y la solución para la plaga:

- La mosquita blanca o *Trialeurodes vaporariorum* es una plaga habitual en los cultivos agrarios y de jardín que ataca a las plantas ornamentales. Estos insectos surgen en climas templados y húmedos en las épocas de primavera y verano, atacando a las plantas con su aparato bucal succionador. Esta plaga se alimenta de la savia y su presencia se detecta mirando el envés de las hojas (*Figura 29*), pues es la zona más porosa y donde más savia se concentra. Existen dos formas de eliminarlas: aplicar insecticidas o inficionar⁸ la plaga con especies de insectos parásitos (el *Eretmocerus californicus* o la *Encarsia formosa*).



Figura 29. Envés de una hoja infectada por la mosquita blanca. [28]

⁸ Infectar, corromper o envenenar una sustancia.

Los minadores de hojas son larvas de insectos dípteros pertenecientes al género de los *Liriomyza*. Se conocen por este nombre debido a que excavan galerías y túneles en las hojas (*Figura 30*) donde se localizan, provocando la reducción de la fotosíntesis, el marchitamiento y las caídas de las hojas. Lo que se recomienda para acabar con ellas es el uso de trampas de plástico atrayentes (*Figura 31*), aunque también existe la posibilidad de usar químicos a costa de posibles daños para los cultivos.



Figura 30. Hoja afectada por un minador de hojas. [29]



Figura 31. Trampas atrayentes amarillas para evitar plagas en los invernaderos. [30]

- Los trips o tisanópteros son unos pequeños insectos neópteros. Se suelen alojar en las estructuras internas de las hojas de las plantas, donde se construyen sus colmenas y ponen sus huevos. Este tipo de plaga retrasa el crecimiento de las plantas afectando al tamaño de los frutos, dado que raspa la superficie de las frutas y las flores (*Figura 32*). La forma más adecuada para deshacerse del insecto es eliminar todos los residuos del invernadero y mantener limpio su interior, aunque también existe la posibilidad de inficionar la plaga con mariquitas o crisopas.



Figura 32. Flor afectada por un tisanoptero. [31]

2.2.2 Factores técnicos

Los factores técnicos de un proyecto son estudios que recogen todos los aspectos relacionados con los procedimientos, recursos y aplicaciones que la ciencia necesite para definir el resultado final de un proyecto. Al tratarse de un trabajo tan detallado y específico, podemos encontrar diferentes campos de la ciencia y otros conceptos distintos a éstos, necesarios para su realización.

En este apartado se hablará de una forma concisa de algunos elementos ajenos a la electrónica necesarios para el diseño del proyecto, y más adelante se explicará con más detalle todos aquellos apartados que se estén omitiendo. Según NOVAGRIC, empresa con más de cuarenta años de experiencia en el sector de la agricultura auxiliar, define como factores técnicos esenciales de un invernadero a todos los conocimientos relacionados con los cultivos, los materiales, los servicios, la superficie y las dimensiones.

2.2.2.1 Cultivos

Antiguamente se desconocían las propiedades y las condiciones climáticas idóneas para las plantas. Este hecho ocasionó que durante un largo periodo no hubiese distinción a la hora de cultivar, dado que era muy común tener diferentes hortalizas y plantas bajo las mismas condiciones. Con el tiempo se observó que para condiciones similares se obtenían resultados dispares dependiendo del cultivo. Hecho que desencadenó la realización de numerosos estudios con el fin de encontrar la causa de estas diferencias; y gracias a todos los científicos y especialistas en el campo de la agricultura podemos agrupar a los cultivos por clases, conocer sus necesidades y tratar sus requerimientos. Es por este motivo que actualmente existen diversos tipos de invernadero para cada tipo y método de cultivo:

Los cultivos comprenden un gran número de especies botánicas con exigencias de suelo y clima muy variables. Estos cultivos suelen tener una alta exigencia en cuanto a la temperatura y la humedad relativa, por ejemplo, algunos son típicos de los meses más fríos, como las alcachofas o coliflores; mientras que otros se cultivan en los meses más cálidos, como el melón, la sandía o el tomate. Los cultivos hortícolas más famosos de origen español son el tomate y el pimiento; seguidos del pepino, el calabacín y el melón. A cada cultivo se le suele relacionar con un tipo de invernadero específico dependiendo de: las condiciones ambientales, su grado de exigencia y de su sistema de producción (cultivos en suelo, cultivo en sacos o contenedores, cultivos hidropónicos puros o cultivos en bandejas).

Un invernadero donde se cultivan tomates (*Figura 33*) debe tener unos requerimientos climáticos muy elevados en comparación con otras plantas herbáceas de la familia de las solanáceas, ya que necesita de climas muy específicos para poder desarrollarse en buenas condiciones. A la hora de cultivar tomates es aconsejable tener una temperatura estable y adecuada durante el periodo vegetativo, es decir, una temperatura diurna de 20-30°C, y una nocturna de 15-17°C; requiriendo de una humedad relativa óptima entre el 60-80 %. Los principales problemas que presentan este tipo de invernaderos son los siguientes:

- La aparición de plagas y enfermedades gracias a una elevada humedad relativa (necesaria para la subsistencia del tomate).
- No tener la planta de tomate correctamente iluminada provoca la disminución de la fruta y la aparición de hongos.
- Las temperaturas superiores a los 35°C perjudican a la fructificación; y por encima de los 45°C son mortales para la planta del tomate. Cuando las temperaturas son inferiores a las estipuladas, pueden sufrir alguna fisiopatía⁹.



Figura 33. Ejemplo de un invernadero industrial de la planta del tomate. [32]

⁹ Cualquier anomalía que se manifieste de manera funcional o morfológica en plantas o frutos, originada por un agente abiótico.

Invernaderos para viveros

Se conoce como vivero al conjunto de instalaciones agronómicas en las cuales se plantan, germinan, maduran y endurecen todo tipo de plantas. Existen tres tipos de viveros según la planta que produzca: los viveros agrícolas, donde se producen frutas; los viveros forestales, donde se dedican a la producción de árboles para jardinería y repoblación; y los viveros ornamentales (*Figura 34*), donde se producen plantas para la jardinería. Los viveros se dividen normalmente en tres zonas diferentes (zona de siembra, zona de producción y zona de aclimatación) donde se realizan diferentes tareas.



Figura 34. Zona de producción de un vivero ornamental. [33]

Invernaderos de flores

Probablemente estos invernaderos sean los más complejos y los que mayor nivel tecnológico deban tener, ya que exigen unas condiciones muy concretas en las temperaturas y los fotoperiodos. Al igual que en las hortalizas, se designa un tipo específico de invernadero dependiendo de las condiciones ambientales, su grado de exigencia y su sistema de producción: cultivo de flor cortada (cultivos en suelo, cultivo en sacos o contenedores o cultivos en bandejas), o cultivo de plantas en maceta.

Actualmente los invernaderos de flores cortadas más comunes en España son de claveles, gerberas, rosas, astromelias y anturios. Para poder ver estas necesidades con una mayor claridad, ejemplificaré brevemente cómo debería gestionarse en caso de un cultivo de claveles.

En un invernadero donde se cultiven claveles (*Figura 35*) se debe tener en cuenta que es una de las flores con mayor demanda lumínica, dado que su crecimiento y su orientación dependerán del nivel de radiación solar que haya recibido en el invernadero. Las condiciones climáticas óptimas de un clavel son varias, pero normalmente se aconseja tener una temperatura diurna sobre los 15-18°C; y una nocturna entre los 10-12°C. Además de eso,

hay que tener una humedad relativa media del 60-70% y una iluminación de 40.000 lux. Los principales problemas que presentan este tipo de invernaderos son los siguientes:

- Las humedades relativas elevadas y las altas temperaturas ambientales son aspectos que generan enfermedades y plagas.
- Una baja luminosidad en el invernadero provocaría debilidad en la planta y a su vez un aumento de la sensibilidad a enfermedades.
- Si las temperaturas varían o los valores se mantienen estables en temperaturas que no estén comprendidas entre los márgenes especificados, estaríamos provocando daños irreversibles a la flor.



Figura 35. Invernadero de cultivo de claveles en Murcia. [34]

Invernaderos para semilleros

Un semillero es un tipo de invernadero donde se realiza la siembra de los cultivos hortícolas. Consiste en una superficie de terreno acondicionado para cultivar semillas con el objetivo de producir su germinación con las mejores condiciones y cuidados, para lograr que la planta crezca fuerte y saludable hasta su trasplante. Al igual que en los viveros, los semilleros están divididos por zonas que realizan tareas específicas, siendo estas: la zona de siembra, la zona de germinación, la zona de producción y la zona de aclimatación.



Figura 36. Zona de producción de un invernadero semillero. [35]

Además de toda la información comentada de los invernaderos, el diseño y la estructura deben cumplir con la normativa europea UNE-EN 13031-1 según los requisitos de las normas ISO 9001 y 14001 con las que Novedades Agrícolas está certificada desde el año 2000.

En la actualidad se pueden encontrar innumerables estudios de botánica relacionados con los cultivos, donde se pueden extraer una serie de factores cruciales a la hora de planificar un invernadero. Los descubrimientos más notables que se pueden emplear hoy en día sobre los cultivos son los siguientes:

- El botánico neerlandés *Jan de Koning* determinó en 1988 que cuando las temperaturas internas de un invernadero se elevaban por encima del rango óptimo de un cultivo, se podía acelerar el crecimiento de los frutos a expensas del desarrollo vegetativo. Además, en el año 2000, determinó la relación lineal entre la tasa de desarrollo de los frutos y la temperatura.
- Los horticultores ingleses *R. I. Grange* y *J. Andrews* escribieron el artículo “Tasas de crecimiento del fruto del tomate de invernadero en relación con el calibre final” en 1993. En este artículo se afirmó que el tamaño final del fruto dependía del aumento del peso, del crecimiento del diámetro y de las variaciones en las temperaturas internas que padeciese el fruto días después de la antesis¹⁰.
- Entre el año 1995 y 2001 varios científicos escribieron artículos que hablaban de las relaciones entre la temperatura y diferentes aspectos (humedad, radiación y ventilación) y la mejor forma de sacarles provecho.

2.2.2.2 Servicios

Hasta ahora solamente se han comentado aspectos internos de un invernadero y cómo el entorno natural influía en el conjunto. Ahora se comentarán los aspectos externos creados por el hombre que influyen en un invernadero.

Cuando se comentaban en anteriores apartados posibles localizaciones para un invernadero, no se tenían en cuenta las carreteras. Es cierto que mejoramos exponencialmente las condiciones del cultivo cuanto más nos alejamos de la contaminación producida por las ciudades, pero es evidente que al no tener en cuenta las carreteras estaríamos dificultando el transporte y generando así una pérdida económica muy grande. Es por este motivo se tiene que buscar la forma de obtener los beneficios que pueda proporcionar la naturaleza sin dejar de lado los beneficios que se puedan obtener de la

¹⁰ Periodo de tiempo que abarca desde que la flor comienza a expandirse hasta que está completamente desarrollada y en estado funcional.

ciudad. Es decir, cuanto más alejado de las zonas urbanizadas se encuentre el invernadero mejores condiciones tendrán los cultivos, pero más gasto habrá a la hora de comercializar con ellos.

Actualmente en los negocios es prácticamente obligatorio contar con cobertura telefónica para realizar gestiones. Aunque esto sea algo evidente, la falta de cobertura telefónica es un problema que hoy en día se sigue sufriendo en diferentes partes del mundo. Un ejemplo claro podría ser la “España Vacía”, que son zonas agrícolas que no disfrutaban de estos servicios ya que, a las grandes compañías de telecomunicaciones, no rentabilizan la instalación de los equipamientos necesarios para un servicio de suficiente calidad.

En último lugar, si contamos con un invernadero que disponga de un sistema de calefacción, sería necesario tener plena accesibilidad a combustibles como: el gas natural, el propano y la electricidad. Para ello es imprescindible contar con proveedores que nos acerquen estos suministros hasta nuestro invernadero. Por otro lado, existen alternativas más sostenibles y renovables en el mercado de suministros como: la energía solar, el compost, las astillas de madera, las cáscaras de nuez, etc. Por ejemplo, en diversas zonas olivareras del interior de Andalucía, el hueso de aceituna ha ganado protagonismo rápidamente en los últimos 20 años, dado que se ha demostrado que es un excelente combustible para calderas y estufas por su: alto contenido energético, poder calorífico y su elevada densidad.

2.2.2.3 Dimensiones

Uno de los apartados previos a la construcción de un invernadero consiste en dimensionarlo. La relación que existe entre el largo y el ancho del invernadero es importante para conocer los comportamientos y microclimas que se pueden generar en su interior. A esta relación se le tiene que añadir todas aquellas superficies que estén expuestas o en contacto con el exterior, dado que las pérdidas del calor son directamente proporcionales a este factor, es decir, a mayor área de transferencia, mayor intercambio de calor con el exterior y menor inercia térmica.

La superficie expuesta también aumenta dependiendo de la altura y la pendiente del techo del invernadero (*Tabla 1*). Aumentar la altura de un invernadero implica dos cosas: por un lado, mayor superficie de intercambio y por lo tanto menor inercia térmica; pero por el otro lado, aumenta el volumen del aire en el interior, contrarrestando los efectos negativos provocados por el aumento de superficie. Al aumentar una superficie trae más ventajas, como pueden ser aumento de puntos de ventilación y comodidad para realizar los trabajos.

Tipo de clima	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Motivos
Zonas frías	$12 \leq x \leq 24$	$X < 50$		

Zonas templadas	$X < 10$	$X < 50$	$X \geq 2,5$	Favorece a la conservación de la temperatura
Zonas cálidas	$X > 10$	$X > 50$		Disminuye las temperaturas internas

Tabla 1. Dimensiones favorables para un invernadero dependiendo del clima de la zona. [26]

Los lugares donde normalmente se suelen localizar son zonas que tienen una latitud media o alta, ya que en invierno la duración e intensidad de la luz solar son factores muy limitantes en la producción. Numerosos estudios han confirmado que los techos que cuentan con una superficie curva transmiten mayor cantidad de luz que los planos, demostrando así que el tipo de pendiente del techo afecta en el resultado.

Para poder escoger el tipo de techo que queremos poner en nuestro invernadero hay que tener en cuenta que cuanto más perpendicular sea el ángulo de incidencia de los rayos solares, menor albedo¹¹ y mayor penetración tendrá. Por lo tanto, para diseñar de una manera eficiente el techo de un invernadero tenemos que saber la inclinación de los rayos solares según la latitud (α) con respecto a la superficie terrestre (*Figura 37*).

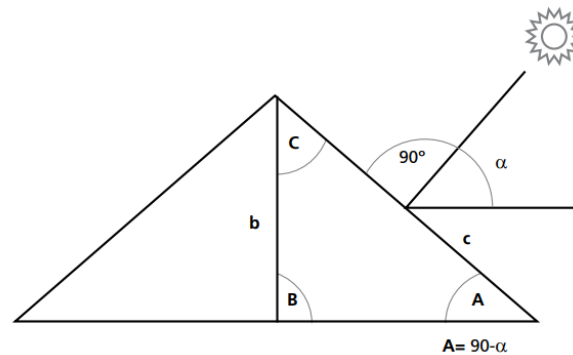


Figura 37. Inclinación de un techo a dos aguas según la inclinación de los rayos solares. [26]

Por último, la forma y los ángulos del techo tienen que ver con la superficie expuesta. A la hora de calcular el balance de energía de un invernadero se debe considerar tanto el período diurno como el nocturno. Este balance determina que la transferencia de calor ocurre de afuera hacia adentro en el día y al contrario en la noche. Cuando optamos por usar superficies curvas en el techo estamos aumentando el área de transferencia hacia fuera en la noche. Por eso se debe analizar el techo como superficie expuesta. Esto también se relaciona

¹¹ Proporción existente entre la energía luminosa que incide en una superficie y la que se refleja.

con el ángulo de inclinación (normalmente superiores a los 45°) de los techos rectos, los cuales no deberían ser excesivos para evitar esas transferencias de calor.

2.2.2.4 Materiales de la estructura

A la hora de definir un determinado tipo de invernadero se tiene que dedicar la mayor parte del tiempo a estudiar la estructura y los elementos constructivos. La estructura es el almacén del invernadero formado por: pilares, vigas, correas, etc., que tienen como función soportar: los fenómenos meteorológicos (viento, lluvia, nieve, etc.), la cubierta, los aparatos instalados y las sobrecargas de entutorado¹² de plantas, las instalaciones de riego y todos los sistemas automatizados.

Las estructuras deben encargarse de limitar al mínimo el sombreado y facilitar la libertad de movimiento en el interior. Las mínimas condiciones que debe presentar la estructura de un invernadero son las siguientes:

- Deben presentar un alto nivel de resistencia, pero a la vez tienen que ser ligeras.
- El material que se emplee tiene que ser lo más económico posible sin dejar de lado los aspectos fundamentales; además de ser fáciles de conservar para evitar gastos innecesarios.
- Tiene que ser posible realizar cambios futuros, como por ejemplo una ampliación.
- Debe ceñirse al espacio destinado y ocuparlo de la forma óptima.
- Se tienen que escoger materiales para la cubierta con capacidad de adaptabilidad y ser modificables

Los materiales más empleados en la construcción de las estructuras de los invernaderos dependiendo de su uso son:

- **En los arcos:** acero galvanizado o aluminio.
- **En soportes o basas de cimentación:** hormigón.
- **En los canales:** en acero galvanizado o aluminio.
- **En correas y vigas:** acero galvanizado, hierro y aluminio.
- **En el emparrillado:** en acero galvanizado o aluminio y alambre galvanizado.
- **En pilares, apoyos y refuerzos:** madera, acero galvanizado, hierro y aluminio.

¹² Conjunto de técnicas agrícolas destinadas a dar soporte al crecimiento de determinadas plantas o variedades de estas.

- **En sujeción de la cubierta:** alambre galvanizado o perfiles de acero galvanizado o aluminio, según el tipo de invernadero.

A la hora de escoger una cubierta se deben tener en cuenta las propiedades más importantes: transmisión de la radiación solar, la transparencia a la radiación infrarroja o térmica y la transmisión de calor de los materiales que la componen. Los materiales que se suelen utilizar generalmente son los siguientes:

- **Vidrio:** cristal de vidrio impreso.
- **Plásticos rígidos:** de polimetacrilato de metilo, policarbonato y poliéster.
- **Films plásticos:** de polietileno, copolímero etileno vinil acetato (etilvinilacetato) y cloruro de polivinilo y plásticos multicapa.

2.2.2.5 Organización de la mano de obra

Una buena organización de la mano de obra en un invernadero es algo crucial, por lo tanto, el personal se divide en dos equipos encargados de una zona específica (superior o inferior). Los trabajadores de cada zona se especializan en campos, conocimientos y aptitudes diferentes con el fin de buscar un trabajo óptimo, rápido y de mayor calidad. Dentro de cada grupo existe un supervisor con la experiencia necesaria encargada de observar, dirigir y apoyar a los trabajadores.

Los trabajadores de la zona inferior son responsables de la porción de la planta que sea accesible desde el suelo. Las tareas encomendadas a estos trabajadores son las siguientes: retirar las hojas del terreno (deshoje), extraer todos los frutos defectuosos (poda de frutos) y cosecharlos, explorar y tratar las plantas de las posibles enfermedades. Dependiendo del tipo de cultivo, también tienen como misión colocar ganchos de sujeción en las ramas que estén en peligro de quebrarse. Todas estas tareas tienen que realizarse bajo unas normativas muy específicas, ya que si no se realizan de forma correcta pueden estar favoreciendo inconscientemente la aparición de plagas o enfermedades.

El personal encargado de la zona superior es responsable de: inclinar y bajar las plantas, sujetarlas con anillos en caso de que sea preciso, guiar la punta de la planta, podar los racimos al número de frutos deseados y extirpar chupones o yemas axilares¹³. Todas estas tareas se realizan con el fin de reducir considerablemente el riesgo de dañar a los frutos. Además, se minimizan la aparición de ramas retorcidas y se potencia la producción de frutos de gran tamaño, dado que las ramas al no tener ningún tipo de torsión hacen que el agua y los nutrientes esenciales sean capaces de fluir perfectamente. En caso de que los trabajadores

¹³ Brotes embrionarios localizados en la axila de una hoja.

de la zona superior no sean cuidadosos y eficientes estarían afectando al trabajo de los encargados de la zona inferior.

2.2.3 Factores socioeconómicos

2.2.3.1 Presupuesto de un invernadero

Cuando hablamos de los presupuestos de un invernadero podemos diferenciar dos fases: la de elaboración y la de la oferta técnica.

La fase de elaboración de un proyecto comienza con la descripción detallada de las necesidades del cliente transmitidas al técnico comercial de la entidad correspondiente (instancia comercial). Acto seguido se elabora un informe para el departamento técnico, donde se especifica las condiciones del proyecto. Una vez conocidas las retribuciones del proyecto, el equipo técnico de la empresa elabora la oferta de un punto de vista más técnico y económico (elaboración de la oferta).

La fase encargada de la oferta técnica se divide en varios apartados: el modelo de invernadero, donde se discute el diseño y la fabricación según las especificaciones del proyecto; las dimensiones, donde se presentan las medidas idóneas para el proceso productivo; las elecciones de materiales de la estructura y las elecciones de los materiales de la cubierta, donde se discuten todos los aspectos relacionados con los aspectos mecánicos y las condiciones climáticas, estructurales y económicas; y el nivel de automatización, apartado destinado a buscar el método correcto para el grado de automatización que precise el cliente.

Por último, tras finalizar la oferta técnica se presenta la oferta comercial para su revisión y en caso de ser correcta, se presenta el proyecto al cliente para su posterior aceptación o para añadir cambios.

2.3 Estructuras y elementos constructivos de un invernadero

2.3.1 Elementos que componen la estructura de un invernadero

La estructura de un invernadero varía dependiendo del tipo de invernadero que se vaya a construir. Como elementos fundamentales encontramos: la cimentación y la estructura portante o conjunto de elementos estructurales que constituyen el soporte del sistema, y además se sostienen así mismos. Los elementos que normalmente componen una estructura de un invernadero son los siguientes:

- **Los soportes** se encargan de fijar y transmitir los esfuerzos al suelo. Las dimensiones de éstos dependen de los esfuerzos que tengan que soportar, de la granulometría¹⁴ y de la cohesión de las partículas del suelo.
- **Los pilares** tienen como función soportar la cubierta del invernadero, y sus dimensiones dependerán del diseño del invernadero y de los esfuerzos que deban soportar.
- **Los refuerzos** son perfiles de apoyo que se instalan en un invernadero con el objetivo de absorber gran parte de los esfuerzos que soportan los pilares. Los más utilizados suelen ser los refuerzos perimetrales y los refuerzos de interiores.
- **El capitel** se coloca en la parte superior de los pilares y se encarga de unir las cerchas con los pilares, descargando todo su peso sobre estos. Además, es ahí donde se colocan los canales de evacuación.
- **Las cerchas** son unas estructuras reticulares de barras rectas interconectadas por nodos, su función principal es la de portar el material de cubierta.
- **Las ventanas cenitales** son las ventanas que se instalan en la cubierta de un invernadero. Estos elementos pueden automatizarse y se conocen cuatro tipos de ventanas: cenitales 173 arco, cenitales 172 arco, supercenitales 174 arco y mariposa.
- **Los canales de evacuación** se encargan de evacuar el agua de la lluvia.
- **Protecciones anticaídas** mediante vallas colocadas en el perímetro de la cumbrera.
- **El emparrillado** para entutorar los cultivos.

2.3.2 Tipos y usos de arcos

El arco es un elemento estructural de directriz en forma curvada, que se encarga de resistir las cargas que actúan sobre ellas trabajando exclusivamente a compresión; intentando eliminar todo lo posible los esfuerzos de flexión. Los tipos de arcos más usados en los invernaderos son los siguientes:

- **Arco semicircular** (*Figura 38 a*): este arco se reconoce porque su cubierta de forma redondeada y por su gran capacidad de captar la radiación solar. Además de eso, albergan un mayor volumen de aire y evacua mejor el condensado de la cubierta.
- **Arco asimétrico** (*Figura 38 b*): su objetivo principal radica en mejorar la transmisión de luz. Este arco es una solución perfecta para los invernaderos situados en climas fríos o los meses de invierno, ya que inducen un aumento de la radiación

¹⁴ Estudio que se encarga de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifásico.

interceptada. También se considera uno de los arcos con mayor resistencia a las inclemencias climatológicas, fundamentalmente en el caso de vientos fuertes.

- **Arco de punta u ojival (gótico)** (Figura 38 c): este tipo de arco es una mejora del semicircular, ya que puede hacer todo lo que hace éste, pero mejorando la capacidad de interceptación de la luz solar.

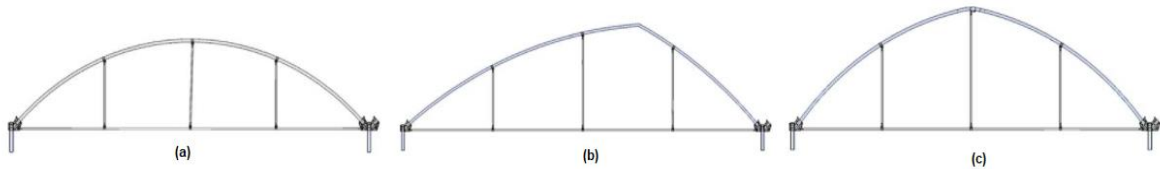


Figura 38. Formas de los arcos mencionados. [36]

2.3.3 Tipos y usos de perfiles

La función principal de los perfiles de un invernadero es actuar como refuerzo de la estructura y fijar el cerramiento del material del cerramiento elegido, siendo normalmente plástico, malla y/o policarbonato. Los perfiles son propios de los invernaderos de tipo multicapillas ya que en los otros invernaderos no es común utilizarlos y en sustitución sólo se utilizan otros materiales de sujeción.

Los perfiles de los invernaderos son muy importantes que estén galvanizados ya que normalmente este tipo de elementos suelen estar en contacto con el agua y se oxidan con más facilidad. Dependiendo del uso, condiciones y la localización que tengan se utilizan unos tipos u otros, siendo los más comunes los perfiles normalizados H, C, M y cuadrados.

2.3.4 Cerramiento

Una de las principales características de los invernaderos es el uso de materiales para los cerramientos y dependiendo de que tipo de invernadero sea se utiliza un material u otro. En caso de ser un invernadero holandés o de tipo venlo se utiliza el vidrio y en caso de ser otro diferente se usa el plástico. Las propiedades de los principales tipos de plásticos utilizados en los invernaderos se recogen en la *Tabla 2*, mientras que la explicación se enumera a continuación:

- **Polietileno (PE)**: es uno de los plásticos más comunes gracias a sus precios económicos y su fácil fabricación. Si variamos las condiciones de polimerización (temperatura, presión y catalizador) podemos obtener los siguientes plásticos:
 - **PEBD**: polietileno con baja densidad, utilizados en cubiertas de invernadero.

- PELBD: polietileno lineal de baja densidad, usado en los acolchados y pequeños túneles.....
- PEAD: polietileno con alta densidad, utilizado en los riegos, drenajes y contenedores.
- **Copolímero etileno vinil acetato (EVA):** filmes que se usan como pantallas térmicas en cubiertas simples o dobles y como protección de túneles bajos. La característica única que presenta el EVA es su alta resistencia mecánica en comparación con otros tipos.
- **Policloruro de vinilo (PVC):** plástico de consistencia rígida que se usa para las cubiertas de los invernaderos. Los inconvenientes que presenta están relacionados con la temperatura y partículas, ya que es muy sensible al frío y con el tiempo pierde su color inicial.
- **Policarbonato (PC):** plástico muy utilizado en cerramientos laterales o frontales.

	PEBD	PEAD	EVA	PVC	PC
Transp. Luz (%)	90	90	90	90	75-83
Transp. IR (%)	62-65	62-65	11	20-30	0
Transm. Calor (W/°Cm²)	8-9	8-9	6-7	7-8	4-4,8
Densidad (g/cm³)	0,91-0,93	0,96	0,92-0,93	1,16-1,5	1,2
Antigoteo	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Antipolvo	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ

Tabla 2. Propiedades y características de los diferentes plásticos usados en los invernaderos. [26]

2.3.5 Tipos y usos de mallas

A lo largo del trabajo se han dado breves pinceladas al concepto de las mallas, hablando de diferentes uso y tipos. En este apartado se concretará un poco más estos aspectos y se introducirán otros diferentes.

Las mallas para invernadero tienen diferentes usos dentro de la agricultura, ya que son las encargadas de proteger las plantas al tiempo que proporcionan un ambiente y condiciones climáticas adecuadas para su crecimiento. Normalmente se suelen utilizar las mallas de polietileno que han sufrido un tratamiento previo de rayos ultravioletas para mejorar su densidad. Aunque el uso general de las mallas sea el cerramiento del invernadero, se conoce que en el mercado hay diferentes tipos de mallas por los diferentes usos que ofrecen. Los tipos de mallas que se conocen según su uso son los siguientes:

- **Las mallas anti-insectos o anti-trips:** su objetivo principal es evitar la entrada de insectos nocivos para el cultivo, y a su vez también evita la salida de los insectos beneficiosos del sistema. Existen diferentes tipos dependiendo del espesor de las cuadrículas y normalmente son colocadas en las ventilaciones (perimetrales, frontales y cenitales).
- **Las mallas cubresuelos o anti-hierba:** se utilizan dentro de los invernaderos para mantener el suelo en condiciones saludables para las plantas e impedir que las malas hierbas proliferen. También se puede localizar diferentes tipos según su función, dado que según el color puedes conservar/perder su calor o reflejar/absorber los rayos solares. Este tipo de mallas son idóneas para las tareas de evacuación del agua gracias a la porosidad que ofrecen, evitando encharcamientos y enfermedades fúngicas.
- **Las mallas antigranizo:** este tipo de mallas son las adecuadas para proteger los cultivos arbóreos o plantaciones jóvenes de los fenómenos atmosféricos a modo de cortavientos.
- **Las mallas de sombreado:** lo importante de estas mallas es saber cuándo y cuales utilizar, dado que no todos los cultivos necesitan de ellas o del mismo tipo. Las principales diferencias se encuentran en los colores y propiedades. También se suelen usar como método de ventilación, para disminuir las temperaturas internas y favorecer la transpiración de las plantas.

2.3.6 Tipos y usos de pantallas

Las pantallas son una novedad agrícola reciente, que permiten un control de la luz, temperatura y humedad casi perfecto. Estas pantallas tienen la peculiaridad de ser móviles, por lo que se pueden usar cuando se necesite, y que se pueden instalar en cualquier tipo de invernadero y clima. Las pantallas están formadas por combinaciones de tejidos de poliéster con finas capas entretejidas de aluminio, consiguiendo así mantener la temperatura ambiente en un nivel óptimo para los cultivos. Se conocen en el mercado diferentes tipos de pantallas: las pantallas térmicas, de sombreado, de ahorro energético y de reflexión solar

Las pantallas térmicas se encargan de controlar: las temperaturas, la humedad y la luminosidad, y se pueden colocar en el cualquier parte del invernadero: en el interior, en el exterior, en el techo cuando está cerrado (fotoperiodo) y en el techo cuando está abierto al 90% (con el fin de alternar el aire del invernadero con el exterior). Además de estos beneficios, se conoce que también ayudan con el ahorro del combustible de la calefacción y el agua del riego.

En **las pantallas de sombreado** se encuentran dos tipos: las de sombreado interior y las de sombreado exterior. Por un lado, las pantallas interiores se encargan de aumentar la ventilación, reducir la radiación solar y las altas temperaturas. Por el otro lado, las pantallas exteriores están destinadas a proteger a los cultivos contra la aparición de elementos atmosféricos no deseados.

Las pantallas de ahorro energético y reflexión solar son pantallas transparentes diseñadas para retener al máximo la cantidad de calor, mientras se intenta minimizar las pérdidas de iluminación. La peculiaridad que tienen frente a las otras es su alto contenido de aluminio, con el fin de controlar mejor las condiciones internas y ahorrar energía en el proceso.

2.4 Tipos de invernaderos

2.4.1 Invernadero tipo venlo

La estructura de los invernaderos de tipo holandés o tipo venlo (*Figura 39*) está integrada por perfiles de acero galvanizados y a diferencia de los otros tipos de invernaderos, éstos están cubiertos por paredes de vidrio. Este invernadero está diseñado para cultivar especies que requieren de ciertos cuidados especiales como las hortalizas y las flores.

Normalmente los invernaderos de este tipo están elaborados con materiales ligeros que permitan adaptarse a cualquier tipo de terreno, con el fin de facilitar la instalación y manipulación. Además de eso, se caracteriza por tener una mayor ventilación en los cultivos y por tener canales pluviales para una mayor captación de agua.

Las ventajas más destacables que ofrece este tipo de invernadero es la posibilidad de integrar diferentes herramientas optimizadoras de la producción y del rendimiento de las plantas, como pueden ser sistemas de fertirrigación o mecanismos para controlar el clima. Otro factor que se ve favorecido gracias a la estructura es la captación de luz, ya que aumenta y mejora la calidad del clima en el interior.

Al igual que los otros tipos de invernaderos, permite producir fuera de la temporada de cultivo y conseguir mejores rendimientos en periodos cortos de tiempo, sin minimizar la calidad. Además, ayuda a prevenir todos los daños causados por agentes externos, ya que facilita el control de plagas y enfermedades. Por último, cabe destacar que este tipo de invernadero es uno de los más utilizados en la producción agrícola, principalmente en lugares donde hay muchos cambios de temperatura y donde las condiciones climáticas son bajas, gracias a esto es posible tener mayor seguridad a la hora de cultivar.



Figura 39. Invernadero tipo venlo o tipo holandés. [37]

2.4.2 Invernadero tipo raspa y amagado

Los invernaderos de tipo raspa y amagado (*Figura 40*) son invernaderos que nacieron a partir de una transformación de los invernaderos planos o de tipo parral con el fin de poder evacuar el agua de la lluvia. Este cambio se realizó para adaptarse a las condiciones climáticas de Almería (España) y evitar las acumulaciones de agua provenientes de la lluvia perjudiciales para la estructura.

Se caracterizan por tener en la parte alta, un elemento que se conoce como “raspa”, y a su vez está sostenida mediante tubos galvanizados o de perfiles laminados y alambres o trenzas de hilos de alambre. En la parte baja, que se conoce como “amagado”, se une a la estructura mediante horquillas de hierro sujetas a la base del invernadero.

Estos invernaderos se recomiendan para climas templados por la estanqueidad y aislamiento que proporcionan, además gracias a su diseño barato y sencillo pueden aguantar perfectamente corrientes de aire fuertes.

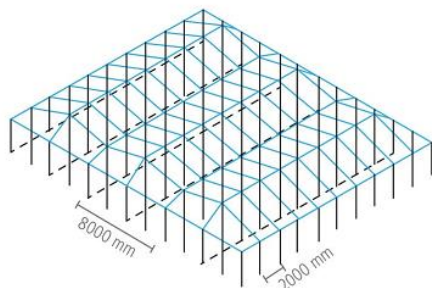


Figura 40. Estructura de un invernadero tipo raspa [38] y amagado [39].

2.4.3 Invernadero tipo capilla

Los invernaderos de tipo capilla o multicapilla (*Figura 41*) se reconocen por su estructura totalmente metálica y por su cubierta formada por arcos semicirculares. Este tipo de invernadero son una buena elección cuando queremos colocarlos en climas templados y fríos, ya que pueden adaptarse fácilmente a cualquier tipo de condición climática con las adaptaciones necesarias. Además de eso, se conoce por su rápida instalación, por su facilidad de adaptarse a las nuevas tecnologías y por su elevada resistencia contra los vientos fuertes.

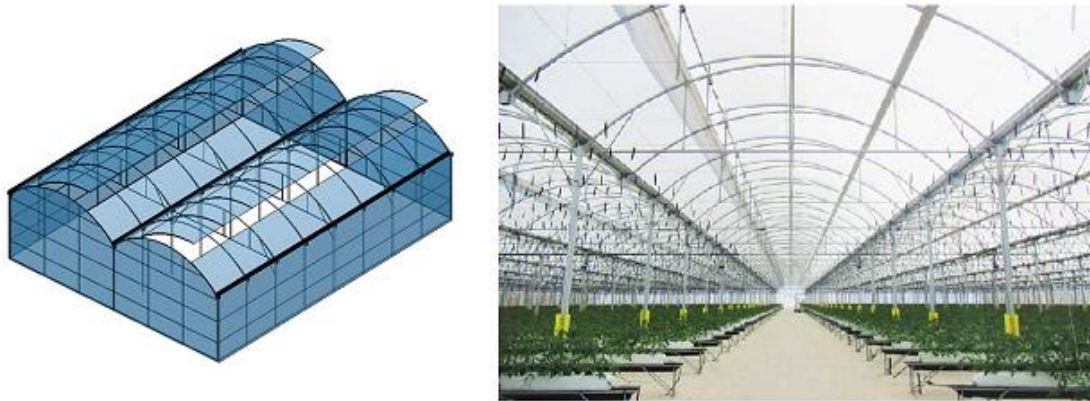


Figura 41. Estructura de un invernadero tipo capilla o multicapilla. [40]

2.4.4 Invernadero tipo gótico

Los invernaderos de tipo gótico se diferencian del tipo capilla o multicapilla (*Figura 42*) en los arcos, ya que se suelen utilizar los de tipo ojival por su alta capacidad para albergar una gran cantidad de volumen de aire, generando así un mejor microclima e iluminación en el interior.

Dos de los beneficios más importantes de este tipo de invernadero son la facilidad de adaptación a los climas extremos (templados y fríos) y a cualquier tipo de cultivo, en especial los cultivos suspendidos o hidropónicos. Otro factor para tener en cuenta es que gracias a su diseño se pueden construir naves más anchas y con mayor superficie de cultivo.

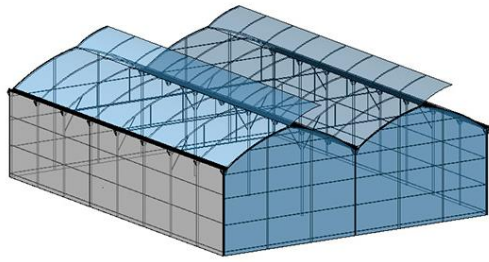


Figura 42. Estructura de un invernadero tipo gótico. [41][42]

2.4.5 Invernadero tipo asimétrico o tropical

Los invernaderos asimétricos o tropicales (*Figura 43*) tienen la peculiaridad de que al contrario que los otros tipos tienen una cubierta más inclinada, que se estudia en función de la incidencia perpendicular de la luz solar para aprovecharla al máximo el mayor tiempo posible.

La ventilación de un invernadero de este tipo es fija y se localiza en el centro de cada uno de los arcos estructurales que corren a lo largo de todo el techo por medio de aperturas. Este invernadero es el indicado cuando se quiere cultivar cualquier tipo de cultivo en climas tropicales, con temperatura cálidas y con alta humedad.

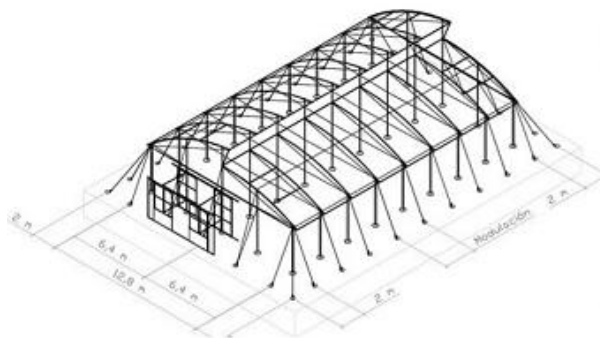


Figura 43. Estructura de un invernadero tipo asimétrico o tropical.

2.5 Hidroponía

La agricultura hidropónica es un invento proveniente del siglo XX, que surgió gracias a la necesidad de compensar la falta de tierras agrícolas, contribuyendo a la seguridad

alimentaria y fomentando la producción de verduras y hortalizas de una calidad superior (Figura 44). La hidroponía ofrece diversas ventajas según los expertos en la agricultura:

- Permite un mayor control del desarrollo del cultivo al poder gestionar la solución fertilizante y el agua, reduciendo la dependencia de factores incontrolables como pueden ser: sales, metales pesados y enfermedades del suelo agrícola.
- Provoca una disminución a la hora de usar desinfectantes y plaguicidas, a causa de la baja probabilidad de aparición de malas hierbas y plagas.
- La productividad y la rentabilidad del cultivo aumentan al no tener que cultivar en zonas de suelos desagradados o contaminados.
- El sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales al no depender exclusivamente del espacio donde se planten y los nutrientes que se le proporcionen a las raíces.
- Las pérdidas hídricas del sistema son inferiores en comparación con otras formas de cultivo, ya que se están proporcionando las cantidades necesarias de forma controlada. También se reducen las pérdidas por infiltración y evaporación que puedan aparecer en el sistema hidropónico.
- Se logra un ahorro considerable en mano de obra y costos al considerar el proceso de cultivar y recolectar como una tarea liviana y de bajo riesgo.

Como todo sistema, el riego hidropónico presenta una serie de desventajas, ya que implica una gestión más técnica y dependiente de los recursos modernos (suministros de energía, renovación del sustrato y aparatos electrónicos). Esto conlleva mayores esfuerzos a la hora de realizar el mantenimiento y limpieza de las instalaciones, junto al aumento de los residuos sólidos y acumulaciones de drenaje. Así como las pérdidas monetarias generadas por los servicios básicos (agua, luz, equipo, etc.)

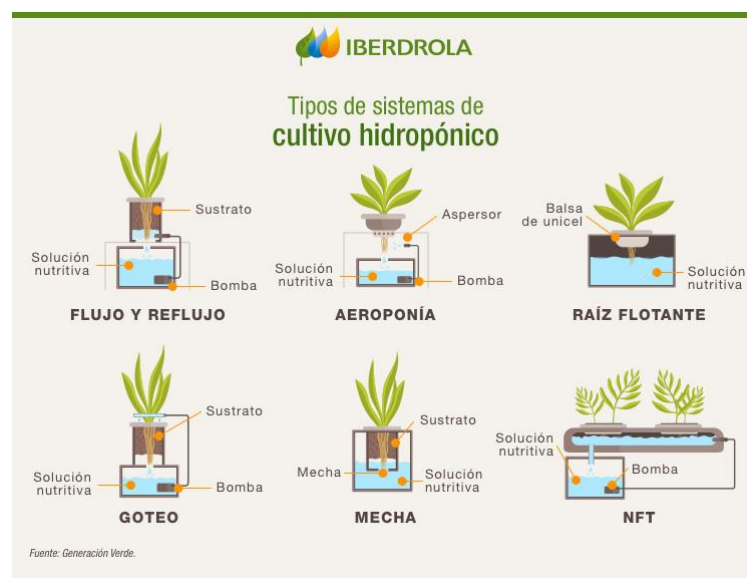


Figura 44. Tipos de sistemas de cultivo hidropónico. [44]

Gracias a estos tipos de sistemas se podrían solucionar una parte de los problemas del cuidado que tienen algunos cultivos conflictivos, como pueden ser las fresas y fresas, ya que todas las condiciones relacionadas con el agua quedarían solucionadas al ser un riego tan modernizado. Aunque estos cultivos presentan una serie de complicaciones adicionales que necesitan ser corregidas, como pueden ser la rigurosa calidad del sustrato y el mantenimiento ante los residuos. Aunque presentando una serie de cambios en el diseño del sistema hidropónico se pueden solventar estos inconvenientes.

2.5.1 New Growing System (NGS)

El sistema NGS representa una variante de cultivo hidropónico que se distingue por la ausencia de sustrato. En este enfoque de hidroponía puro, las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante (SNR) que fluye a través de un circuito cerrado de un conjunto de láminas de polietileno (PE) superpuestas en forma de “V” (multibandas). Esta configuración posibilita un ahorro considerable tanto en agua como en fertilizante, otorgando el sistema un carácter ecológico y respetuoso con el medio ambiente.

Las láminas del conjunto de multibandas se disponen de tal manera que la solución nutritiva, tras recorrer una distancia que varía según los distintos modelos, fluye hacia la lámina siguiente mediante orificios troquelados en la parte inferior. Las láminas de las multibandas son sujetadas mediante un conjunto de celosías en forma triangular, colocadas en pendiente favoreciendo el curso de la solución nutritiva (Figura 45).

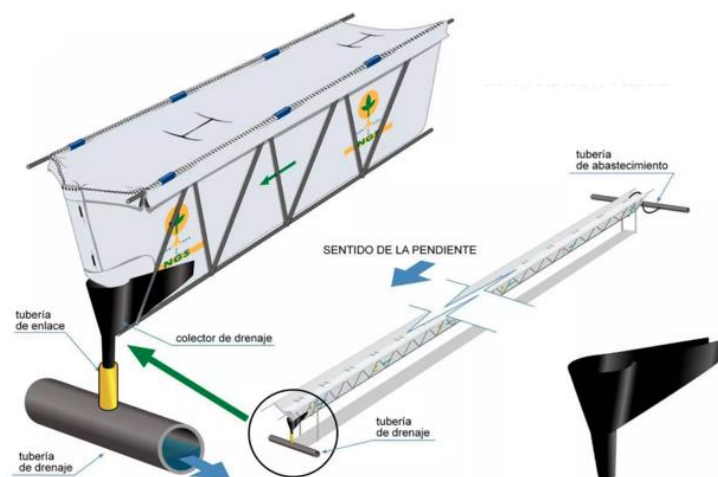


Figura 45. Disposición de una multibanda NGS y detalles del final de línea.[45]

En el instante en que la solución nutritiva es liberada por el sistema de goteo, sigue un extenso trayecto. A lo largo de este recorrido, la solución nutritiva proporciona a las raíces agua, nutrientes y oxígeno. Simultáneamente, elimina los iones no asimilados o los

compuestos excretados por las raíces de la capa límite que las rodea, contribuyendo a la renovación de los gases esenciales para la respiración radical (O_2 y CO). A parte de lo mencionado, se pueden encontrar las siguientes ventajas (*Figura 46*).

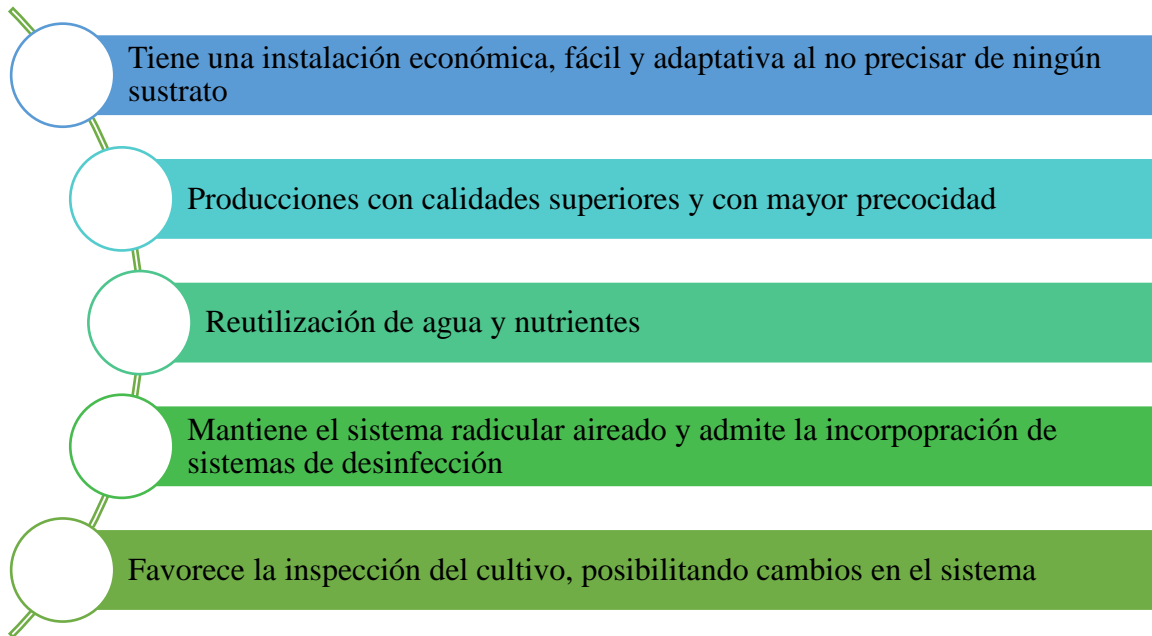


Figura 46. Esquema de las ventajas que proporciona un sistema NGS.

Antes de trasplantar cualquier cultivo en este sistema se debe comprobar que el desarrollo de las raíces de las plantas sean las adecuadas, ya que en caso de no tener las dimensiones requeridas no podría entrar en contacto con la solución nutritiva. Para lograrlo, es necesario comprar o cultivar previamente la planta en un sustrato agrícola espumoso que no sea parte del sistema.

Una vez trasplantados los cultivos en la primera capa, sus raíces serán guiadas por el flujo del agua a lo largo de la pendiente, siendo dirigidas hacia agujeros que les posibilitan descender a la capa siguiente. Este proceso se repite tantas veces como capas interiores tenga la multibanda, haciendo que las raíces del cultivo se adapten fácilmente (*Figura 47*).



Figura 47. Forma y disposición de las raíces de un sistema NGS de multibandas.[46][47]

La empresa *New Growing System (NGS)*, encargada de fabricar y diseñar proyectos de hidroponía, afirma que la utilización de estos sistemas es imprescindible en la agricultura actual. Este enunciado se basa en los estudios realizados por su empresa, donde valoran la rentabilidad y la sostenibilidad de los proyectos que utilizan este método de cultivo. A partir de los datos recogidos en estos estudios se puede extraer que, es posible obtener una sostenibilidad y rentabilidad elevada en un proyecto si se tienen presentes los siguientes puntos:



Figura 48. Factores asociados a la sostenibilidad y rentabilidad de un proyecto de riego hidropónico NGS. [48]

2.6 Situación de la fresa y fresón en el comercio

En un contexto mundial cada vez más integrado, las importaciones alimentarias desempeñan una función significativa en la disponibilidad de suministros de alimentos en muchos países. Sin embargo, esta práctica también plantea una serie de conflictos y dilemas que afectan tanto a la parte consumidora como la parte relacionada con la seguridad alimentaria. Las importaciones alimentarias presentan un conjunto de implicaciones que afectan su calidad, seguridad y sostenibilidad. Entre las más significativas se encuentran las siguientes:

- A) **El impacto ambiental.** El transporte a larga distancia genera emisiones notables de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático. A su vez, en algunos países se realiza la práctica de la agricultura intensiva para aumentar la producción de alimentos, generando así deforestaciones, degradaciones del suelo y pérdidas en la biodiversidad.
- B) **El impacto económico.** Las importaciones suponen un riesgo para el comercio exterior e interior, reflejándose de la siguiente forma:

Por un lado, depender de las importaciones puede generar una vulnerabilidad en las fluctuaciones de los precios internacionales y una volatilidad de los mercados globales. En el peor caso de todos, se puede interrumpir el comercio a causa de conflictos políticos, desastres naturales u otros eventos. Un ejemplo claro fue el conflicto entre Ucrania y Rusia, que supuso una disminución del 40% en las importaciones de trigo en Medio Oriente y Norte de África en el año 2022.

Por el otro lado, un país puede abandonar las prácticas agrícolas tradicionales y sostenibles cuando existen importaciones alimentarias baratas y subvencionadas; ya que afectan negativamente a la producción realizada por los agricultores al competir injustamente con los productos locales.

- C) **Seguridad alimentaria.** La falta de regulaciones y controles adecuados de algunos países pueden generar que las importaciones alimentarias sean un riesgo para la salud. La presencia de contaminantes, aditivos nocivos, pesticidas prohibidos y patógenos transmitidos pueden comprometer la salud de los consumidores. Esto se ha podido comprobar cuando RASFF¹⁵ (Sistema de Alerta Rápido para Alimentos y Piensos) notificó la presencia del virus de la hepatitis A en fresas que habían sido exportadas de Marruecos a España, a principios del mes de marzo del 2024.

La situación a nivel nacional se puede conocer a raíz de un informe anual en el cual se detalla el estado del comercio exterior agroalimentario y pesquero, presentado por el

¹⁵ Sistema europeo que permite compartir información sobre riesgos detectados en alimentos y piensos, como contaminación química, microbiológica o física y tomar medidas rápidas para proteger la salud pública y garantizar la seguridad alimentaria.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. En el documento que se redactó en el 2021 se puede extraer la siguiente información, referenciada en la *Figura 49*.

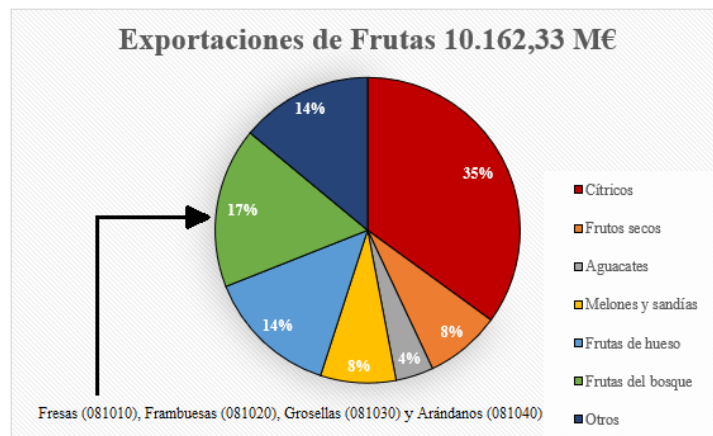


Figura 49. Gráfico de las exportaciones de frutas realizadas por España en el 2021.

- Las frutas generaron unos beneficios de 10.162,33 M€ con las exportaciones que se realizaron, convirtiéndose así en el segundo grupo con mayores ganancias dentro del comercio nacional. Las importaciones y exportaciones de frutas han experimentado un continuo aumento en comparación con los años anteriores. Al realizar el balance del 2021 entre ganancias y pérdidas, se obtiene un saldo¹⁶ de 6.776 M€, siendo este el más alto de toda su historia.
- Dentro de la categoría de frutas existen varias subcategorías, y la que más beneficios ha supuesto es aquella que engloba a los caquis, kiwis y frutos rojos, con un saldo de 2.071 M€. Además, esta subcategoría presentó un incremento en el HHI¹⁷ (Índice de Herfindhal-Hirschman) promedio y anual como se aprecia en la *Figura 50*.

¹⁶ Se entiende por saldo la diferencia entre las exportaciones y las importaciones. Cuando este valor es positivo, implica que el país ha realizado más exportaciones que importaciones y, por ende, ha conseguido más beneficios que pérdidas.

¹⁷ El índice de Herfindhal-Hirschman es una medida que oscila entre 0 y 10.000 y determina el nivel y cambios de concentración en los mercados. Cuanto mayor sea el valor, mayor será el grado de monopolio del producto en el mercado.

Productos	HHI: Concentración mercados exportación					Export. 2021 (M€)
	HHI Promedio 2012-2021	HHI 2020	HHI 2021	Var. (%) HHI 2021-2020	Var. (%) HHI 2021 - promedio (2012-2021)	
Carne de porcino (02.03)	1.165	2.260	1.659	-26,6	42,4	5.501
Citricos (08.05)	1.439	1.531	1.635	6,8	13,6	3.578
Aceite de oliva (15.09)	1.468	1.110	1.193	7,5	-18,7	3.276
Vino y mosto (22.04)	673	649	611	-5,9	-9,1	2.943
Otras hortalizas frescas (espárragos, pimientos, champiñones, aceitunas frescas, etc...) (07.09)	1.551	1.504	1.540	2,4	-0,7	2.470
Frutos rojos , kiwi y caqui (08.10)	1.518	1.639	1.662	1,4	9,5	2.071
Frutas de hueso (08.09)	1.298	1.614	1.551	-3,9	19,5	1.378
Productos de panadería , pastelería o galletería (19.05)	1.119	993	904	-9,0	-19,2	1.311
Otras legumbres y hortalizas en conserva (20.05)	852	793	746	-5,9	-12,4	1.066
Moluscos (03.07)	2.410	2.416	2.469	2,2	2,5	1.064

Figura 50. Diversificación o concentración de los mercados en exportación. [49]

- Los frutos rojos, o frutas del bosque, obtuvieron un saldo de 1718,51 M€ de los 2.071 M€. A su vez, presentaron un crecimiento en el comercio exterior con respecto a los años anteriores, ya que se obtuvieron 19,9% más de beneficios que en el 2020. Las fresas y fresones, pertenecientes a la categoría anterior, fueron el segundo tipo de fruta en ser más exportado en el año 2021, obteniendo un saldo de 1.313, 2 M€.

3 Memoria descriptiva

3.1 Dimensiones y estructura del invernadero

Para definir adecuadamente las dimensiones del invernadero, es útil basarse en experiencias previas y en soluciones ya implementadas. Al revisar algunos proyectos similares publicados, es posible establecer unos límites para la selección de las dimensiones, acotadas por las características iniciales del proyecto y del sistema de riego seleccionado.

A la hora de realizar una construcción de un invernadero es esencial tener presente la normativa UNE-EN 13031 (Invernaderos. Cálculo y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial). Esta normativa especifica los parámetros necesarios a la hora de seleccionar los distintos elementos estructurales que requiere un invernadero.

Uno de los objetivos principales del proyecto es asegurar que el invernadero sea autosuficiente. Para ello, los elementos electrónicos deben ser alimentados por energía solar, utilizando paneles instalados en la parte superior de la estructura. El techo que soporte estos paneles debe ser completamente liso o mixto (con una mitad lisa y la otra curva o similar). Además de lo anterior, la estructura del invernadero debe ser capaz de soportar todos los elementos relacionados con el sistema de riego (motores, canales, tuberías, etc.).

En proyectos de gran envergadura, donde intervienen múltiples áreas de especialización o aspectos de alta complejidad, es común subcontratar empresas especializadas para llevar a cabo estas tareas específicas. En este proyecto, se le proporcionarán los requerimientos estructurales a una empresa especializada, a la cual se le delegarán las labores relacionadas con la construcción y el cálculo. Con esta práctica se consigue una optimización de los recursos, tiempo y calidad en la realización del proyecto.

Para mostrar la estructura y las dimensiones, se han elaborado dos planos que recogen la idea principal del invernadero (ver *Planos 1 y 2*). Las dimensiones, los requerimientos y los motivos de estos se detallan en la *Tabla 3*, que se presenta a continuación:

Elemento	Medida	Explicación
Ancho del invernadero	9 m	Medida estandarizada para invernaderos con placas fotovoltaicas en el techo.
Largo del invernadero	100 m	Medida aconsejable para conseguir de forma sencilla una hectárea de cultivo.
Altura del invernadero	7,8 m	Resultado de aplicar los conceptos al techo. Con la ayuda de los canalones y un sistema recolector

		se aprovechará el agua de la lluvia, introduciéndola en el depósito pluvial.
Ángulo de inclinación del techo curvo	40°	En Cataluña se recomienda una inclinación de estas dimensiones por la latitud en la que se encuentra. Además, se favorece a la captación de luz solar y al aprovechamiento del espacio.
Ángulo de inclinación del techo recto	30°	Es un valor muy cercano al recomendado en Cataluña y a su vez evita la acumulación de suciedad y desechos.
Distancia para las ventilaciones	2,7 m ²	Gracias al diseño del invernadero se pueden localizar varios espacios de estas dimensiones en las cuales se pueden instalar ventilaciones forzadas.
Superficie del invernadero	900 m ²	Espacio disponible para instalar el sistema de riegos y cultivos.
Superficie placas solares	600 m ²	Espacio disponible para instalar placas solares.

Tabla 3. Especificaciones de las dimensiones del invernadero.

3.1.1 Distribución interna y materiales del invernadero

La organización interna de un invernadero es fundamental, ya que al dividir el espacio de una forma organizada se puede maximizar la eficiencia y productividad del conjunto. Como se ha mencionado con anterioridad, la mejor forma de cultivar fresas es por medio la implementación de un sistema de riego hidropónico con técnicas NGS, es decir, mediante un riego nutritivo que circula por un conjunto de multibandas. Teniendo en cuenta esto, la distribución y los elementos que la formarán serán los siguientes:

I. Pasillos

Se han diseñado tres pasillos de 3 m de ancho y 9 m de largo para permitir un acceso adecuado a las principales áreas del invernadero (entrada, centro y final) y facilitar la plantación y recolección de los frutos.

II. Distancias laterales

Se deja una separación de 0,7 m entre las multibandas de los extremos y una distancia de 0,5 m entre multibanda para proporcionar suficiente espacio en el crecimiento de las fresas (*Plano 5*).

III. Dimensiones de las Multibandas

Las multibandas se venden en rollos de 0,10 m de ancho y 300 m de largo (con posibilidad de ser cortadas), permitiendo cultivar cada 0,40 m (*Figura 51*). Con las dimensiones seleccionadas en este proyecto, se podrán colocar 32 multibandas de 0,10 m de ancho y 45,5 m de largo.



Figura 51. Multibandas para riego hidropónico. [50]

IV. Dimensiones de las celosías H14 666

Para la sujeción de las multibandas seleccionadas, se necesitan celosías con forma triangular. Las más comunes suelen ser de metal, con uniones fijas formadas por varillas entre 4 y 6 mm de diámetro. Estas celosías tienen una base de 0,10 m y una altura lateral de 0,14 m, proporcionando una estructura robusta y estable para el soporte de la multibanda (*Figura 52*). Estas celosías tendrán que colocarse con una pendiente del 2% para facilitar el flujo del riego.

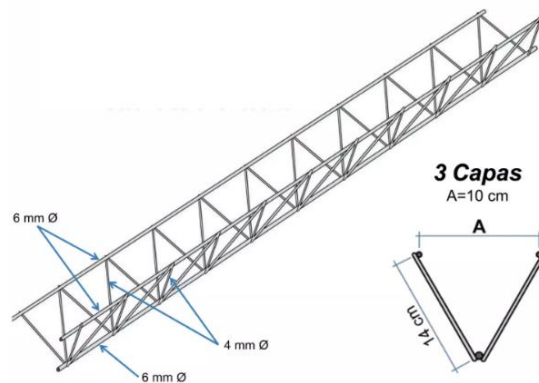


Figura 52. Celosías H14 666 del sistema de multibandas. [51]

V. Disposición de las multibandas

Este sistema de riego se mantiene elevado, eliminando la necesidad de múltiples pasillos (*Figura 53*). En este proyecto, se han dimensionado para alcanzar una altura media de 1,90 m, con un límite superior de 2,3 m para no interferir y un límite inferior en 1,45 m para facilitar la recolección (*Plano 5*).

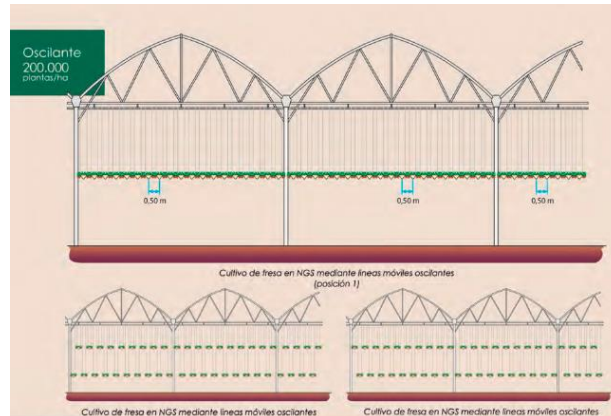


Figura 53. Disposición de un sistema oscilante de un cultivo NGS de fresas. [52]

VI. Soporte oscilante

Un sistema oscilante es un mecanismo eficiente y automatizado que facilita el cultivo de plantas. Utiliza motores eléctricos para mover las bandas de los cultivos, elevándolas o descendiendo según sea necesario. Por ejemplo, elevando las filas impares para acceder fácilmente a las filas pares. Como se puede ver en la *Figura 54*, este sistema necesita un motor eléctrico y un conjunto de cuerdas y poleas. Esto quiere decir que la posición de las bandas depende del sentido de giro del motor, siendo los motores paso a paso los más comunes en estas aplicaciones por su precisión y control.

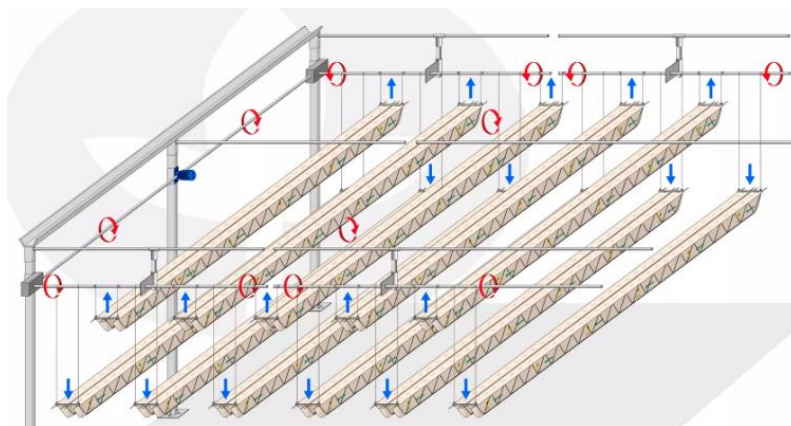


Figura 54. Estructura y funcionamiento de un sistema oscilante. [53]

Para la instalación de este sistema en este proyecto, se emplearán los elementos que aparecen en la *Tabla 4*. En la *Figura 55* se muestra la disposición de cada elemento en dos vistas: alzado y planta, junto a los componentes seleccionados.

Cantidad	Elemento	Explicación	Especificaciones
1	P.GW80.2.400.40.K125 (Motor)	Se encarga de elevar y descender las multibandas de los cultivos para facilitar el acceso y la cosecha de las plantas (2).	Tipo: Trifásico Frecuencia: 50 Hz Par motor: 800 Nm Rpm: 4 Potencia: 750 W Tensión: 230/400 V Corriente: 3,5/2 A
2	P.BBKWL08B.Z16.D125 (Piñón con tubo para soldar)	Para transferir el movimiento generado por el motor se utilizará un piñón adaptador con las mismas dimensiones.	Cadena: 08B z16 Eje: D125 Diámetro interno: 5/4"
150	P.KL100.R.A092 (Placa con cojinetes)	Se instalarán placas con cojinetes cada 2 m de barra, con el fin de evitar torsiones y dobleces.	Diámetro interno: 5/4"
4	Par de engranajes cónicos	Se utilizarán engranajes cónicos para transferir el movimiento de las barras de mando a las barras no impulsoras.	Relación: 1:1 Diámetro interno: 5/4"
4	Barras de acero galvanizadas	Barras no impulsoras (sujetan las multibandas)	Grosor: 5/4" Largo: 8 m
2	Barras de acero galvanizadas	Barras de mando	Grosor: 5/4" Largo: 45,5 m
16	P.KABELRING (Anillos de cables)	Se encarga de almacenar/soltar el cable que sujeta un lado de las multibandas.	Grosor: 5/4"

2	P.KTG08B-2.Z16 (Cadenas)	Se usaría para conectar los piñones (de eje y de barra).	Cadena: 08B z16
---	-----------------------------	--	-----------------

Tabla 4. Descripción y especificaciones del soporte oscilante.

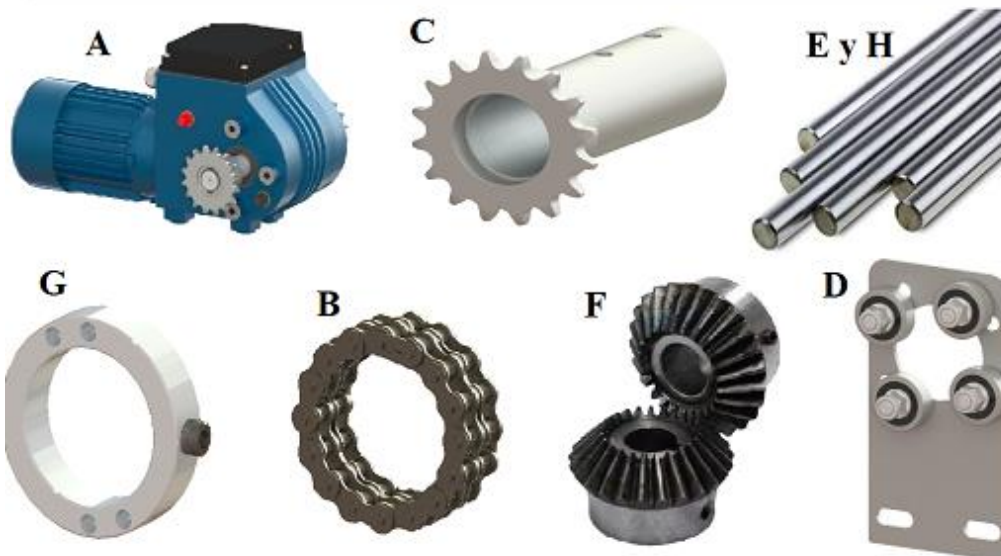
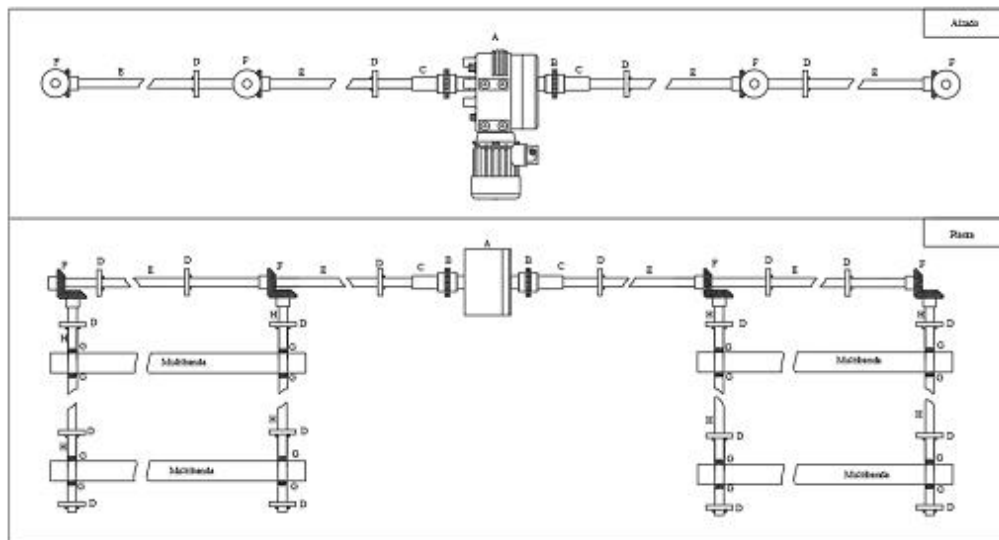


Figura 55. A) Motor, B) Cadenas, C) Piñón con tubo, D) Placa con cojinetes, E) Barras galvanizadas de mando, F) Engranajes cónicos, G) Anillos de cables y H) Barras galvanizadas no impulsoras. [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60]

VII. Sistema de suministro y recolección de la solución nutritiva

La solución nutritiva circulará por dos tuberías, una por cada mitad del invernadero, de 25 mm de diámetro. Estas tuberías se situarán en la parte superior del invernadero y, mediante mangueras flexibles del mismo diámetro que las tuberías, se administrará la solución para cada multibanda. La solución que no sea absorbida será recogida por

recolectores de drenaje conectados a mangueras flexibles con las mismas características. Todas las mangueras se conectarán a una de las dos tuberías enterradas, una por cada mitad del invernadero, que transportará el sobrante para su posterior tratamiento. Esta explicación queda reflejada en el esquema de la *figura 56*.

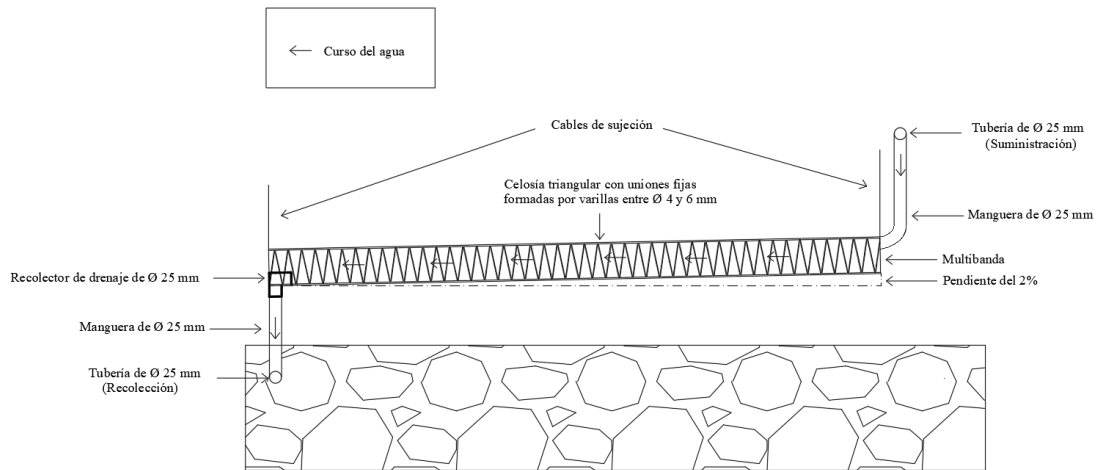


Figura 56. Esquema del sistema de suministro y recolección del riego.

VIII. Sistema de ventilación

En un invernadero, los ventiladores [111] son esenciales para regular la temperatura y prevenir el sobrecalentamiento, al dispersar el calor acumulado. Además, aseguran una circulación continua del aire, evitando zonas de aire estancado que pueden dañar las plantas. Aunque el ventilador no enfría directamente, ayuda a mantener una temperatura más estable, beneficiando así la salud general de las plantas.

Al utilizar un ventilador en un invernadero con alta humedad ayuda a reducir la humedad al facilitar la evaporación del agua. Esto previene el crecimiento de hongos y moho, mejora la circulación del aire, y asegura una distribución uniforme del dióxido de carbono.

Para este proyecto se han utilizado 5 ventiladores (FE2owlet - FN063-6IS.BD.V7P2), colocados cada 20 m en uno de los laterales del invernadero. Éstos se alimentan 200-277 V a 50-60 Hz, consumen una potencia 230 W cada uno, cuenta con una eficiencia del 43,2 % y un caudal volumétrico de aire de 7173 m³/h. Pese que la eficiencia no es muy elevada, presenta un caudal óptimo para espacios amplios como los invernaderos.

3.2 Dimensiones y estructura de la ubicación del sistema de riego

La estructura diseñada para el invernadero permite la colocación de múltiples invernaderos en serie, en caso de que se quiera aumentar la producción. Esta idea nació al revisar varios esquemas y proyectos publicados. En este caso, se le puede añadir la misma estructura y acomodarla para que sea un recinto óptimo para instalar el sistema encargado de gestionar el riego, ya que sus dimensiones lo permiten.

Para mostrar la estructura y las dimensiones, se han elaborado dos planos que recogen la idea principal (ver *Planos 3 y 4*). Las dimensiones, los requerimientos y los motivos de estos se detallan en la *Tabla 5*, que se presenta a continuación:

Elemento	Medida	Explicación
Ancho del invernadero	9 m	Se emplearían las mismas dimensiones que en la estructura del invernadero, asegurando así que las estructuras no generen problemas.
Altura del invernadero	7,8 m	
Ángulo de inclinación del techo curvo	40°	
Ángulo de inclinación del techo recto	30°	
Distancia para las ventilaciones	2,7 m ²	
Largo del invernadero	10 m	Es una medida que ha surgido a raíz de estudiar las dimensiones de los componentes que se van a instalar en el interior.
Superficie del invernadero	90 m ²	Espacio disponible para instalar el sistema que prepara la solución nutritiva y para almacenar las baterías de las placas solares.
Superficie placas solares	60 m ²	Espacio disponible para instalar placas solares.
Altura del cuarto subterráneo	5 m	Este cuarto ha sido diseñado para instalar algunos depósitos, con el fin de aprovechar las alturas como forma de generar movimiento en el fluido. Con las medidas seleccionadas se obtienen una superficie de 18 m ² y un volumen de 162 m ³ .
Ancho del cuarto subterráneo	9 m	
Profundidad del cuarto subterráneo	2 m	

Tabla 5. Especificaciones de las dimensiones del invernadero.

3.2.1 Distribución y materiales del sistema de riego

Las dimensiones, la distribución y las especificaciones de la estructura del sistema de riego se encuentran detalladas en el *Plano 3: PLANO DE 3 VISTAS (PLANTA, ALZADO Y PERFIL) DE LA UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO*. En este plano se presentan tres vistas: planta, alzado y perfil. Basándome en la solución planteada, los elementos que se ubicarán en esta estructura serán los siguientes:

I. Depósitos de fertilizantes

Para el depósito del Nitrato de calcio, Nitrato de magnesio y micronutrientes se va a necesitar un tanque con una capacidad de 15,50 L. Para ajustar a los valores estandarizados se utilizará un tanque de 20 L (*Figura 57*). El resto de fertilizantes necesitarían tanques entre 5 y 10 L, pero se ha decidido utilizar el mismo depósito de 20 L por varios motivos:

- Los fertilizantes se han escogido según su compatibilidad, por lo tanto, no importa la concentración que tengan en cada depósito puesto que no tendrán ningún problema.
- Escoger un depósito más grande posibilita y facilita al usuario realizar cambios futuros. Por ejemplo, a la hora de cambiar un fertilizante por otro con diferentes cantidades.
- Utilizar los mismos depósitos permite un mejor control y mantenimiento al requerir las mismas condiciones.

El depósito cuenta con tres conexiones, de las cuales solamente se usarán las dos que utilizan tapones, ya que la conexión restante se utiliza para purgar. La conexión de 39 mm de diámetro, situada en la parte inferior, servirá como salida, mientras que la conexión de 50 mm de diámetro, situada en la parte superior, se utilizará como entrada para llenar el depósito. Inicialmente, se mantendrá el tapón de la conexión superior, y a la otra se le conectará una electroválvula. El depósito se instalará a una altura de 1,45 m para facilitar su manipulación.

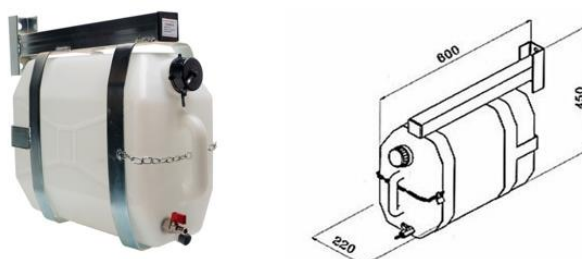


Figura 57. Depósito de 20 L y medidas. [61]

II. Depósitos de mezcla y recolección

Para los depósitos de mezcla y recolección se necesitarían como máximo 2186 L (2 L de fertilizantes más 2184 L de agua) para realizar un riego diario. El depósito de mezcla presenta una serie de condiciones, debe:

- Tener una capacidad superior a 2186 L.
- Soportar productos químicos.
- Tener dos aberturas para permitir el flujo del líquido.
- 1 resistencia calorífica.
- Tener sensores de temperatura y nivel.

Como estas condiciones son muy específicas se ha optado por fabricar los depósitos desde cero, siendo esta la elección:

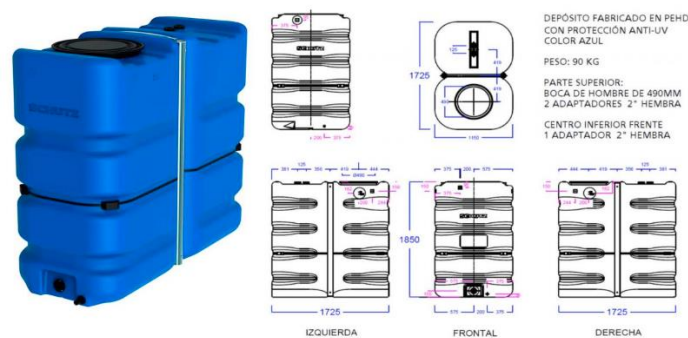


Figura 58. Depósito de mezcla y recolección de 3000 L y especificaciones técnicas extrahídas del datasheet. [62]

- Es un depósito seleccionado (*Figura 58*) cuenta con una capacidad de 3000 litros, adecuada para cubrir los 2186 litros requeridos para el riego.
- Está fabricado con Polietileno de Alta Densidad (PEAD), ya que ofrece resistencia a la corrosión, protección contra humedades externas, y es apto para soportar químicos y variaciones de temperatura.
- Además, está equipado con un tapón ciego, dos roscas de 2 pulgadas (una hembra y otra con tapón) y una salida de 2 pulgadas.
- Por estas condiciones, el depósito puede servir también como depósito de recolección, proporcionando un mejor control y mantenimiento al requerir las mismas condiciones que para el riego.

Ambos depósitos se instalarán bajo tierra a diferente altura acorde al diseño planteado.

III. Depósito pluvial y de desechos

La captación del agua de lluvia se emplearán canalones (elementos implementados en el diseño del invernadero) y se utilizará un depósito que tenga la capacidad de auto vaciarse en caso de estar lleno. Los elementos escogidos son los siguientes:



Figura 59. Depósito pluvial y de desecho de 10000 L. [63]

Este depósito tendría que suministrar al sistema 2184 L de agua, por lo tanto, no se pueden escoger depósitos inferiores a los 2500 L. Para este caso se ha optado por escoger un depósito de 10000 L (*Figura 59*), ya que proporcionaba más ventajas en comparación a las pérdidas:

- Al tener más capacidad se puede aprovechar más agua de lluvia sin desperdiciar.
- Tiene una entrada en la parte superior que se utilizaría para llenar el depósito de los canalones, ya que la altura del depósito (2,96 m) es inferior a la del techo del invernadero (5,7 m).
- La empresa que proporciona estos depósitos permite añadir entradas y salidas a voluntad sin que el precio varíe. Para este proyecto serían necesarias 1 entrada (aporte del agua común) y dos salidas (una para el vaciado automático y la otra para suministrar el agua al sistema).

- Económicamente hablando, sale muy bien de precio en comparación con otros depósitos de menor cantidad.
- Al tener la capacidad de ser personalizado se le podría añadir en uno de los agujeros de salida un sifón de evacuación para que se vacíe el depósito de forma automática cuando esté lleno.
- También se usaría como depósito de desecho porque es de poliéster reforzado con fibra de vidrio (material muy resistente, aislante eléctrico y con alta durabilidad).

El depósito pluvial se instalará en la superficie y se aprovecharán los canalones de las estructuras para abastecerlo. El depósito de los desechos se instalará bajo tierra a la altura más baja de todas, al ser el final del recorrido. Se permitirá el acceso a este depósito para un posterior vaciado y tratado, externo al objetivo de este proyecto.

IV. Sensores de ultrasonidos

Para conocer el nivel de los líquidos en los depósitos se ha optado por escoger un sensor de ultrasonidos. El sensor que se vaya a utilizar en el sistema deberá asegurar que cumpla las siguientes especificaciones:

- Tiene que medir como mínimo distancias de: 296 cm, 185 cm y 45 cm.
- La alimentación del sensor tiene que ser DC.
- La corriente de funcionamiento tiene que ser inferior o igual a la que soporta al microcontrolador.
- Debe tener la capacidad de realizar varias lecturas durante el tiempo que se está vaciando cada depósito.

Con estas condiciones se ha seleccionado el sensor de ultrasonidos HC-SR04. Las especificaciones electrónicas y las anotaciones están recogidas en la *Tabla 5*, y los motivos por el cual ha sido seleccionado se nombran a continuación:

- El sensor HC-SR04 tiene un rango de lectura de 2 cm a 400 cm.
- El sensor se alimenta con 5 V (DC).
- Necesita 15-20 mA (corriente dentro de los márgenes permitidos).
- Puede realizar varias mediciones durante cada vaciado (Cálculo 1, 2 y 3).

Conexiones		Tipo
Vcc	5 V (DC)	ENTRADA DIGITAL

GND	0 V	ENTRADA DIGITAL
Trigger Pin	Una señal de nivel alto de 10 μ s. El módulo envía automáticamente 8 señales de 40 kHz y detecta si hay una señal de pulso de retorno (Figura 59).	SALIDA DIGITAL
Echo Pin	El tiempo que tarda el eco en llegar de vuelta al sensor se refleja en la duración del pulso en este pin.	ENTRADA DIGITAL
Medición	$\text{Distancia} = (\text{Velocidad del sonido en el aire}) * (\text{Tiempo de vuelo del pulso ultrasónico}) / 2$.	
Número de pines	Se necesita una salida digital para que envíe la señal de 10 μ s a todos los sensores y seis entradas digitales para el eco.	

Tabla 5. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor HC-SR04. [64][65]

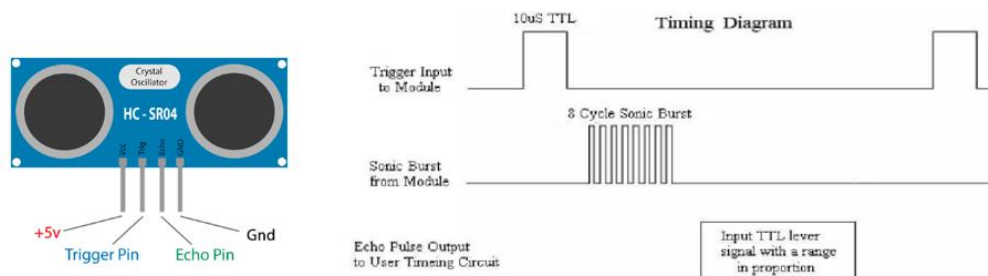


Figura 60. Pines y funcionamiento del sensor HC-SR04. [64][65]

V. Sensores temperatura

Para medir la temperatura de la solución nutritiva dentro del depósito de mezcla, se requiere un sensor que cumpla las siguientes características:

- Debe tener la capacidad de ser sumergible en la solución nutritiva sin provocar cambios en la mezcla ni sufrir corrosiones.
- El contenido del depósito debe mantenerse entre 18-25°C. Por lo tanto, no es necesario buscar un sensor con altos rangos. Asimismo, tampoco se requiere una elevada precisión debido a la amplitud de este rango en comparación con otros sistemas.
- Como este proyecto cuenta con un gran número de elementos, se priorizará algún sensor que proporcione la información necesaria con el menor número de pines.

Tras estudiar algunos proyectos he llegado a la conclusión de que la mejor solución sería utilizar como sensor una Pt100 (*Figura 61*). Se ha escogido una Pt100 debido a que son superiores en precisión, estabilidad a largo plazo, linealidad y rango de temperatura comparado con muchos otros sensores de temperatura. Son ideales para aplicaciones industriales, científicas y de laboratorio donde estas características son críticas. Las especificaciones electrónicas y las anotaciones están recogidas en la *Tabla 7*:

Conexiones	
Rango	-50°C a 200°C
Resistencia nominal	100 Ω
Coeficiente de temperatura	0,0039 $\Omega/^\circ\text{C}$
Self-heating	<0,5°C/mW
Stability	$\pm 0.05 \%$
Corriente recomendada	1 mA
Número de cables	4
Lectura del sensor	Mediante un puente de Wheatstone y un amplificador de instrumentación (INA131) conectado al microcontrolador.

Tabla 6. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor Pt100. [66]



Figura 61. Sensor DS18B20 e instalación extraída del datasheet. [66]

VI. Sensor de pH y módulo de control

Medir el pH de una solución nutritiva es crucial porque el pH juega un papel fundamentalmente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Unos niveles desequilibrados de pH provocan que la salud de la planta peligre al incapacitar la captación de los nutrientes de las raíces de las plantas. Por este motivo se necesita utilizar un sensor con la mayor precisión posible. Las características del sensor escogido se recogen en la *Tabla 7*.

Beneficios	Desventajas
Aunque se tengan que cambiar con regularidad son muy económicos.	La vida útil del sensor oscila entre los 3 y 12 meses.
Tiene una resolución de 0,01 pH con una exactitud de +/- 0,01 pH.	Necesitan una calibración previa del electrodo del pH. Para ello se utilizan soluciones de las que se conocen el pH y se regulan mediante los potenciómetros del módulo.
Características del Sensor + Módulo de control (<i>Figura 62</i>)	
Sensor de pH analógico	Mide el pH de cualquier solución líquida y se usa comúnmente en la hidroponía.
Alimentación del Módulo	3,3 – 5 V (DC)
Instalación	La instalación se haría mediante un agujero del diámetro de la sonda en la tubería.
Pines	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vcc 2. GND 3. Po (1 Pin ANALÓGICO)

Tabla 7. Especificaciones electrónicas y anotaciones del sensor de pH y el módulo de control. [67]



Figura 62 . Sensor de pH y el módulo de control.[67]

VII. Sensores de conductividad eléctrica

Al igual que el pH, la conductividad eléctrica es algo que se tiene que controlar cuando se prepara una solución nutritiva. La gama de los sensores de conductividad eléctrica no es muy amplia, existen sensores muy baratos con bajos rangos y sensores extremadamente caros con amplios rangos. Para este proyecto no se necesitan controlar valores muy elevados, ya que se necesitan controlar mediciones entre 1000 y 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La solución por la que se ha optado es utilizar el sensor TDS METER V 1.0 (Tabla 8).

Beneficios	Desventajas
Su rango de medición es de 0 a 1000 ppm o lo que es lo mismo, de 0 a 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.	La precisión no es muy buena, ya que es de $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
El precio es razonablemente barato en comparación con otras marcas.	
Características del Sensor + Módulo de control (Figura 63)	
Salida analógica	0 – 2,3 V
Alimentación del Módulo	3,3 – 5 V
Consumo de corriente	3 – 6 mA
Instalación	La instalación se haría mediante un agujero del diámetro de la sonda en la tubería.
Pines	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vcc 2. GND 3. 1 pin ANALÓGICO)

Tabla 8. Especificaciones electrónicas y anotaciones del TDS METER V 1.0 y el módulo de control. [68]



Figura 63. Sensor de conductividad eléctrica TDS METER V 1.0 y el módulo de control.[68]

VIII. Bomba hidráulica

Las dos condiciones que debe cumplir la bomba hidráulica son las siguientes: debe tener la capacidad de desplazar la solución nutritiva a lo largo del circuito y hacerlo en un tiempo razonable. Durante la búsqueda, se descartaron varias bombas debido a la falta de información, los bajos caudales o secciones de tubo insuficientes. Finalmente, se ha optado por escoger el siguiente motor (*Figura 64*) con las siguientes especificaciones (*Tabla 9*).

Necesidades del sistema	Prestaciones del sensor
Debe tener una sección de tubo normalizada y que se ajuste al sistema.	La sección de los puertos de entrada y salida son de 1/2", ajustándose al sistema.
Debe estar alimentado por tensión continua.	Alimentación de 12 V con una corriente de 17 A.
Debe ser capaz de conducir la solución por el circuito y llevarla a una altura de 3 m (altura escogida para los cultivos)	-Un caudal máximo de 20 L/min -Una altura máxima de 10 m -Una presión de 420 kPa

Tabla 9. Especificaciones electrónicas y anotaciones De la bomba hidráulica. [69]



Figura 64. Bomba hidráulica de la compañía LIGHTEU®. [69]

IX. Calentador de inmersión

El sistema necesita establecer la temperatura del fluido entre unos valores específicos antes de ser enviado al invernadero, normalmente entre los 17 y los 25°C, llegando a los 30°C en algunos casos concretos.

Tras un estudio, se han encontrado varios componentes capaces de realizar esta tarea. Aunque todos los componentes logren calentar el fluido, existen cuatro factores que son determinantes a la hora de escoger el método para calentar el fluido, siendo estos: el tiempo, el consumo, el precio y la instalación.

En una primera instancia, se decidió emplear componentes alimentados con voltaje de corriente continua debido a sus aparentes ventajas. Sin embargo, se ha decidido no utilizar estos componentes por los siguientes inconvenientes:

- La potencia que consumen suele ser elevada, requiriendo mucha corriente para funcionar de manera estable.
- Los componentes con parámetros más reducidos requieren de un mayor tiempo de utilización.
- Un mayor tiempo de funcionamiento implica un mayor gasto energético, lo cual no es prudente considerando que la alimentación del sistema depende de placas solares.
- La mejor opción suele ser instalar varios componentes similares para evitar los fallos anteriores, pero esto equivale a un aumento del presupuesto y del consumo energético.

Por lo tanto, por estos factores y por el hecho de que ya contamos con elementos que utilizan corriente alterna, se ha decidido que es mejor utilizar un calentador de inmersión (*Figura 65*), con las siguientes especificaciones (*Tabla 10*):

Especificaciones	Valores
Alimentación	230 – 415 V (AC)
Potencia	2000 W
Dimensiones (longitud)	270 mm
Rango de temperatura	0 – 80°C
Densidad de Potencia	8,68 W/cm ²
Protección	IP 65 (Cubierta Sellada)

Tabla 10. Especificaciones electrónicas del calentador de inmersión RS PRO. [70]



Figura 65. Calentador de inmersión RS PRO. [70]

X. Tratamiento ultravioleta

El uso de luz ultravioleta se ha convertido en una herramienta esencial para purificar el agua, eliminando microorganismos dañinos y contaminantes. Esta técnica aprovecha la radiación UV para dañar el material genético de los seres vivos, evitando su reproducción y propagación.

Este método de limpieza se considera eficaz, seguro y respetuoso con el medio ambiente al no requerir de productos químicos, siendo este el motivo principal por el cual se usará. El sistema de desinfección (*Figura 66*) que se utilizará se especifica en la *Tabla 11*.

Especificaciones	Valores	Explicación
Alimentación	110 - 240 V (AC)	Alimentación en alterna (común)
Potencia	25 – 32 W	-
Corriente	0,44 A	Dentro de los tratamientos de ultravioleta es el que menos corriente necesita.
Frecuencia de alimentación	50 Hz	Una frecuencia adecuada para el variador de frecuencia seleccionado en las placas solares.
Dosis de UV	30 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$	Una dosis más que adecuada para las especificaciones del sistema.
Conexión	½" NPT macho	Dimensiones ideales para el sistema de tuberías que se ha diseñado.

Tabla 11. Especificaciones del sistema de desinfección 6 GPM.

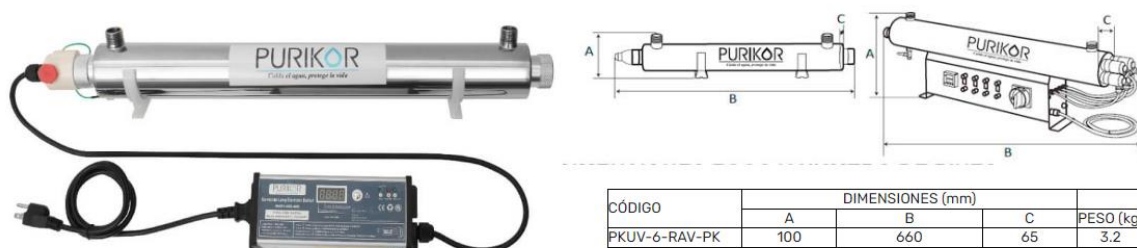


Figura 66. Sistema de desinfección 6PM y dimensiones. [71]

XI. Electroválvulas de 2 vías

Las electroválvulas de dos vías (*Figura 67*) tendrán como función principal actuar como llaves de paso de los depósitos del sistema. Según su localización se necesitarán de algún tipo u otro. Teniendo esto presente las válvulas de dos vías serán las siguientes:

- Para las salidas de los depósitos de los fertilizantes, que tienen una conexión de macho de 1-1/2. En los otros depósitos se han seleccionado las mismas electroválvulas, pero de 2 pulgadas, con el fin de facilitar la unión entre los componentes de riego:

Características	
Alimentación	24 V
Potencia	6 W
Conexión	Hembra de 1-1/2 o 2 pulgadas
Estado	Normalmente abierta
Tiempo de ejecución	15 s

Tabla 12. Especificaciones de las electroválvulas de 2 vías - Hembra de 1-1/2. [72][73]



Figura 67. Electroválvulas de 2 vías - Hembra de 1-1/2. [72][73]

XII. Electroválvulas de 3 vías

Las electroválvulas de tres vías (*Figura 68*) seguirán el mismo cometido que las válvulas de dos vías. Por comodidad también se ha optado por escoger electroválvulas de la misma marca que las presentadas con anterioridad:

- Las tres electroválvulas necesarias del proyecto serán idénticas. Se alimentan a 24 V de continua, con unas entradas hembra de 1-1/2 pulgadas.

Características	
Alimentación	24 V
Potencia	6 W
Conexión	Hembra de 1-1/2 pulgadas
Electrónica	Cable amarillo: Tierra Cable Azul conectado: Válvula AC abierta Cable Marrón conectado: Válvula AB abierta
Tiempo de ejecución	15 s
Temperaturas que soporta	0-90° Interior y 0-60° Exterior

Tabla 13. Especificaciones de las electroválvulas de 3 vías - Hembra de 1-1/2. [74]

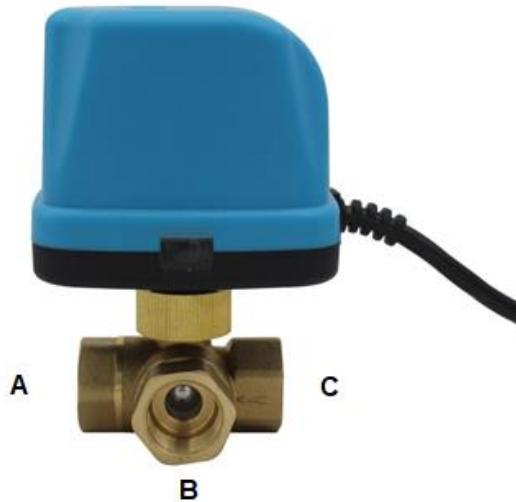


Figura 68. Electroválvulas de 3 vías - Hembra de 1-1/2. [74]

XIII. Relé de 8 y 4 canales

Los elementos o aparatos electrónicos que requieren de una alimentación elevada no pueden recibirla de microcontrolador. Por este motivo, para controlar las electroválvulas, iluminación, ventilación, las bombas hidráulicas, etc. se necesitan una serie de interruptores que hagan de puente entre la alimentación y el control. La solución sería utilizar relés (*Figura 69*):

Características	
Alimentación del módulo	5 V
Corriente del conductor	70 mA
Número de relés	8
Márgenes del relé	250 V (AC) – 10 A 30 V (DC) – 10 A
Estado	Normalmente abierto o cerrado. Depende de la selección que se escoja.
Número de pines	10 pines: Vcc (1 pin 5 V), GND (1 pin tierra), Relé del 1 al 8 (8 pines digitales).

Tabla 14. Especificaciones de los Relés de 8 canales. [75]

Características	
Alimentación del módulo	5 V
Corriente del conductor	50 mA
Número de relés	4
Márgenes del relé	250 V (AC) – 30 A 30 V (DC) – 30 A
Estado	Normalmente abierto o cerrado. Depende de la selección que se escoja.
Número de pines	7 pines: Vcc (1 pin 5 V), GND (1 pin tierra), Relé del 1 al 4 y COM (5 pines digitales).

Tabla 15. Especificaciones de los Relés de 4 canales.[76]

Los motivos por los que se han seleccionado estos relés son los siguientes:

- Las electroválvulas de 2 y 3 vías se alimentan con 12 – 24 V a una potencia de 6 W, teniendo una corriente entre 2 – 4 A. Los relés de 8 canales son una buena elección ya que pueden soportar tensiones de hasta 30 V y corrientes de 10 A.
- Al tener 10 electroválvulas se ha optado por utilizar 2 módulos de 8 canales.
- Para la bomba hidráulica se utilizará un relé especial que soporta 30 A (módulo de 4 canales).

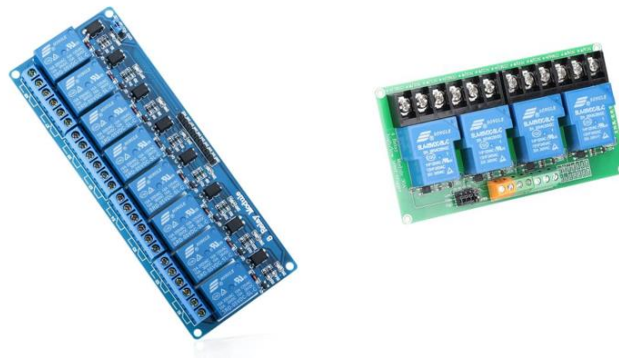


Figura 69. Relés de 8 y 4 canales. [75][76]

XIV. Caudalímetro

Se ha decidido instalar dos caudalímetros en el sistema de riego, uno antes y otro después del sistema hidropónico, con el fin de realizar un seguimiento del proceso de

absorción de las plantas y detectar posibles fugas. El caudalímetro que se ha seleccionado es el YF-s201 (*Figura 70*), las especificaciones son las siguientes:

Necesidades del sistema	Prestaciones del sensor
Debe tener una sección de tubo normalizada y que se ajuste al sistema.	La sección de los puertos de entrada y salida son de 3/4", ajustándose al sistema.
La bomba hidráulica seleccionada ofrece un caudal de 20 L/min.	El caudalímetro es capaz de medir un rango de 0 a 30 L/min.
Características	
Debe estar alimentado por tensión continua.	4,5 – 24 V 15 mA máximo a 5 V
Conexión	-Negro: GND -Rojo: Vcc -Amarillo: Señal de pulso Pin DIGITAL

Tabla 16. Especificaciones del caudalímetro YF-s201. [78]



Figura 70. Caudalímetro YF-s201. [78]

XV. Iluminación Led y control

A la hora de iluminar el invernadero se ha decidido emplear tiras Led (*Tabla 17*), ya que cuenta con una serie de beneficios que no aportan las otras fuentes de luz, como puede ser:

- Presentan resistencia a la humedad y tienen una baja emisión de calor.
- Se les permite ajustar la intensidad, favoreciendo al crecimiento de las plantas.
- Su instalación es muy flexible y en ocasiones más barata.
- Presentan una duración más elevada.

Características	
Alimentación	24 V
Corriente por metro	0,64 A/m
Potencia por metro	7,8 W/m
Número de leds por metro	96

Tabla 17. Características de la tira Leds seleccionadas.

Para controlar la iluminación del invernadero se empleará un cierto con un LDR, al ser un componente de carácter resistivo que varía dependiendo de la luz que le llegue. La utilización de este sensor es muy práctica, ya que solamente se necesita de otra resistencia para formar un divisor de tensión, es decir, el divisor de tensión presentará un cambio en el momento en el que la luz cambie. Para este proyecto se ha decidido emplear un LDR 1 k Ω [124] y una resistencia fija de 10 k Ω , para poder obtener valores entre 0 y 5 V a la salida del divisor.

XVI. Sensor DHT11

La temperatura y la humedad del invernadero son dos parámetros a tener en cuenta. Si alguno de éstos se encontrara fuera de los márgenes permitidos se pondría en peligro la estabilidad del conjunto y la calidad del producto cultivado. Con el fin de ahorrar en costes, se ha decidido emplear el sensor DHT11 [125], que permite la medición de la humedad y la temperatura a la vez (*Tabla 18*).

Características	
Alimentación	5 V
Corriente	5 mA
Rango de temperatura	0 a 50 °C con una precisión de ± 2 °C
Rango de humedad	20% a 90% con una precisión de $\pm 5\%$
Funcionamiento	Comunicación de un solo hilo

Tabla 18. Características del sensor DHT11.

XVII. Filtro de malla

El sistema NGS, la opción seleccionada para el cultivo, presenta varias ventajas, entre las cuales destaca la eficiente oxigenación. Inicialmente, esto es beneficioso; sin embargo,

también permite el paso de residuos orgánicos, como hojas o impurezas. Por esta razón, es necesario instalar un filtro cuando se busca mantener la solución nutritiva en condiciones adecuadas. Un filtro de malla (*Figura 70*) ayudaría a detener las partículas sólidas o impurezas que puedan presentar el sistema de fertiirrigación mediante una malla o un tamiz.



Figura 71. Filtro de malla y filtrado 35 Mesh. [78]

Se ha elegido este modelo por su facilidad en el momento de realizar el conexionado, ya que cuenta con un diámetro normalizado de 1½”, además de su sencilla instalación y mantenimiento.

XVIII. Conectores

Los conectores son todos aquellos elementos que permitan fluir los líquidos por el circuito realizando conexiones. Los conectores que podemos encontrar son los siguientes:

- Los fitting de PPFV (*Figura 72*): son elementos que permiten conectar dispositivos con tuberías, ya que por un lado tienen una rosca hembra o macho y por el otro fijan tuberías dependiendo de los diámetros. Para realizar las conexiones se necesitarán diversos elementos de este tipo:

Elemento	Cantidad
Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 1½” y Ø 50 mm	13
Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 2” y Ø 63 mm	8

Fit. Enlace Rosca Macho de Ø ¾" y Ø 25 mm	4
Fit. Enlace Rosca Hembra Ø 2" y Ø 63 mm	1
Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø ½" y Ø 20 mm	2
Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø 1½" y Ø 50 mm	2

Tabla 19. Número y tipo de fitting de PPFV que se usarán en el proyecto. [79][80]



Figura 72. Ejemplo de fitting macho y hembra. [79][80]

- Reductores cónicos de PVC (*Figura 73*): estos elementos tienen la función de reducir la sección de la tubería por otra. Al tener varias conexiones con distintos diámetros serán necesarias en el sistema.

Elemento (D - E x d)	Cantidad
Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 50 mm	6
Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 32 mm	1
Reducción cónica de Ø 40 mm – 32 x 20 mm	1
Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 20 mm	1
Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 25 mm	2

Tabla 20. Número y tipo de reducciones cónicas que se usarán en el proyecto. [81]

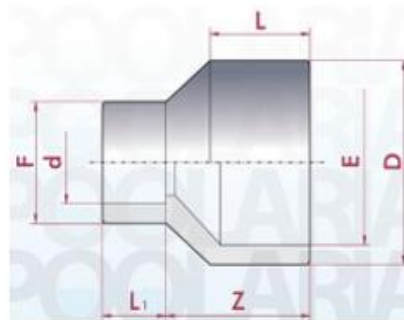


Figura 73. Ejemplo de reducción cónica y dimensiones. [81]

- Cruz de PVC (*Figura 76*): Son elementos que se utilizan para la derivación de las conducciones. Se utilizarían para la conexión de los depósitos de los fertilizantes y el depósito de almacenado con el depósito de mezcla, al tener solamente 2 entradas.

Elemento	Cantidad
Cruz de PVC Ø 50 (D)	1

Tabla 21. Número y tipo de cruz de PVC que se usarán en el proyecto. [82]

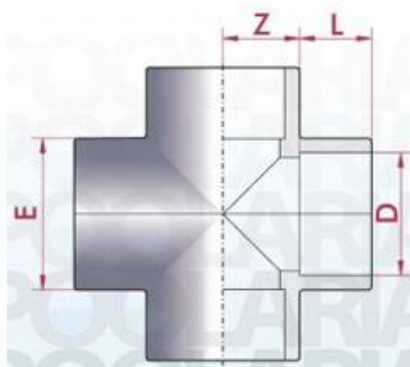


Figura 74. Cruz de PVC y dimensiones. [82]

- Sifón de evacuación (*Figura 74*): es un dispositivo que facilita el vaciado controlado del contenido de un depósito sin requerir de una bomba u otro mecanismo de succión. Opera aprovechando la gravedad y la presión atmosférica, generando un flujo continuo de líquido desde un nivel superior a un nivel inferior. El sifón se instalaría en un agujero situado a 2 m de alto en el depósito pluvial de 10000 L.



Figura 75. Sifón de evacuación. [83]

A continuación, se presenta un esquema detallado (*Figura 79*) que ilustra la instalación del sistema de tuberías, los elementos de unión y los depósitos necesarios para el funcionamiento del invernadero. Este diagrama proporciona una visión clara de cómo están dispuestos los componentes esenciales del sistema de riego.

El esquema detalla la instalación de tuberías de diferentes dimensiones, así como una variedad de elementos de unión que garantizan una distribución óptima del agua en el invernadero. Se destacan los distintos tamaños de tuberías utilizados para diferentes propósitos, desde las principales conducciones hasta los ramales más pequeños que alimentan áreas específicas de cultivo. Además, se muestran los diversos tipos de elementos (cruces, reducciones cónicas, fitting de PPFV, etc.), que se emplean para ensamblar y dirigir las tuberías a lo largo de su recorrido. Esta variedad de componentes asegura una instalación flexible y adaptable a las necesidades particulares de cada sección del sistema, optimizando así el rendimiento del riego y el cultivo en general.

Por último, se puede apreciar la trayectoria de la solución nutritiva desde su punto de origen en los depósitos, pasando a través de las tuberías principales y secundarias, hasta llegar a los diferentes puntos de distribución en el invernadero. Este recorrido está marcado por una serie de flechas azules.

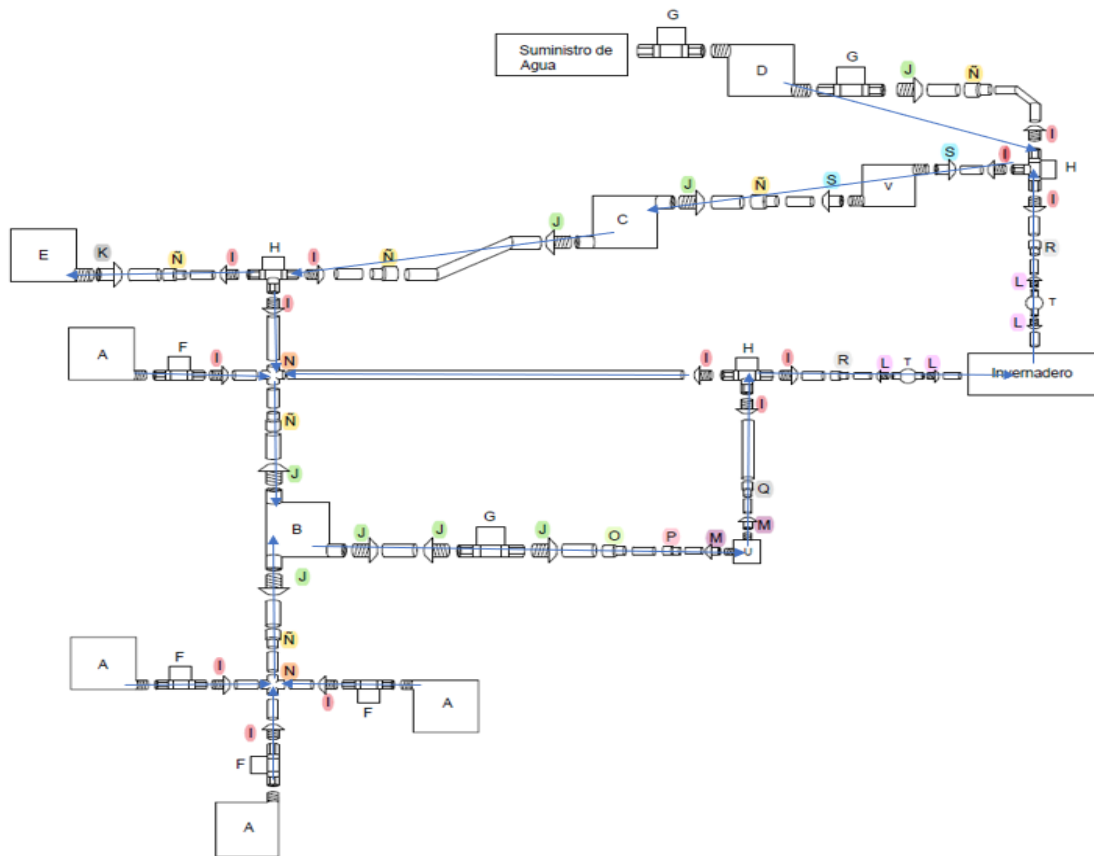


Figura 76. Esquema de la instalación de las tuberías, elementos de unión y depósitos.

- A: Depósito de 20 L de fertilizante con salida de $\text{Ø } 39 \text{ mm}$ o $1\frac{1}{2}''$ – Macho.
- B: Depósito de 3000 L (Mezcla) con 2 roscas de $2''$ (hembra) y una salida de $2''$.
- C: Depósito de 3000 L (Almacenamiento) con 2 roscas de $2''$ (hembra) y una salida de $2''$.
- D: Depósito pluvial de 10000 L con 2 roscas de $2''$ (Macho).
- E: Depósito desechos de 10000 L con 1 roscas de $2''$ (Macho).
- F: Electroválvula de 2 vías de $\text{Ø } 1\frac{1}{2}''$ – Hembra
- G: Electroválvula de 2 vías de $\text{Ø } 2''$ – Hembra
- H: Electroválvula de 3 vías de $\text{Ø } 1\frac{1}{2}''$ – Hembra
- I: Fit. Enlace Rosca Macho de $\text{Ø } 1\frac{1}{2}''$ y $\text{Ø } 50 \text{ mm}$
- J: Fit. Enlace Rosca Macho de $\text{Ø } 2''$ y $\text{Ø } 63 \text{ mm}$
- K: Fit. Enlace Rosca Hembra $\text{Ø } 2''$ y $\text{Ø } 63 \text{ mm}$
- L: Fit. Enlace Rosca Macho de $\text{Ø } \frac{3}{4}''$ y $\text{Ø } 25 \text{ mm}$
- M: Fit. Enlace Rosca Hembra de $\text{Ø } \frac{1}{2}''$ y $\text{Ø } 20 \text{ mm}$

N: Cruz de PVC de 4 Ø 50 mm
Ñ: Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 50 mm
O: Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 32 mm
P: Reducción cónica de Ø 40 mm – 32 x 20 mm
Q: Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 20 mm
R: Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 25 mm
S: Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø 1½” y Ø 50 mm
T: Caudalímetro YFs201 de ¾”
U: Bomba hidráulica de 12 V – Caudal de 20 L/min
V: Filtro de malla Ø 1½” y filtrado 35 Mesh

3.3 Abastecimiento por Energía solar

Desde el cambio climático, la agricultura moderna ha experimentado numerosos cambios, siendo uno de los más importantes el relacionado con el suministro energético en busca de una mayor eficiencia. Independientemente del tipo, los invernaderos requieren una fuente constante de energía para mantener los cultivos en las mejores condiciones posibles. Si relacionamos ambos conceptos, se puede concluir que la mejor forma de alimentar un invernadero es mediante alguna energía renovable, sostenible y económica. Para este proyecto, se ha decidido que la instalación sea utilizando energía solar, ya que se pueden obtener una serie de beneficios:

- Reduce significativamente el coste de energía a largo plazo y proporciona una mayor independencia energética. En caso de que la instalación genere más electricidad de la que se va a necesitar, se puede vender a la compañía eléctrica “*Net metering*”¹⁸.
- Es una energía limpia y renovable, utilizarla reduce la huella de carbono.
- El Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico de España, ofrece incentivos y subsidios por instalar un sistema de energía solar en vez de uno tradicional.

En la situación que nos encontramos, donde la sostenibilidad es cada vez más esencial, elegir la energía solar frente a otros tipos de energía no solo alinea el proyecto con prácticas agrícolas responsables, sino que también asegura un suministro energético económico y constante. Además, la transición hacia fuentes de energía renovable representa

¹⁸ Forma de comercio con la electricidad proveniente de fuentes renovables. [91]

un compromiso con la innovación y la eficiencia, pilares fundamentales para el desarrollo agrícola del futuro.

3.3.1 Instalación de placas solares

Cuando se comienza una instalación de placas solares se deben conocer los requisitos energéticos del sistema (*Figura 77*) que se va a abastecer. Para ello, se debe calcular la potencia nominal de cada uno de los elementos y sumarlas, consiguiendo así la potencia consumida por el sistema. En este proyecto ha dividido las cargas en continua de las cargas en alterna, obteniendo unas potencias de consumo de 1227 W (continua) y 4387 W (alterna) (*4.3 Potencia máxima total del sistema*).

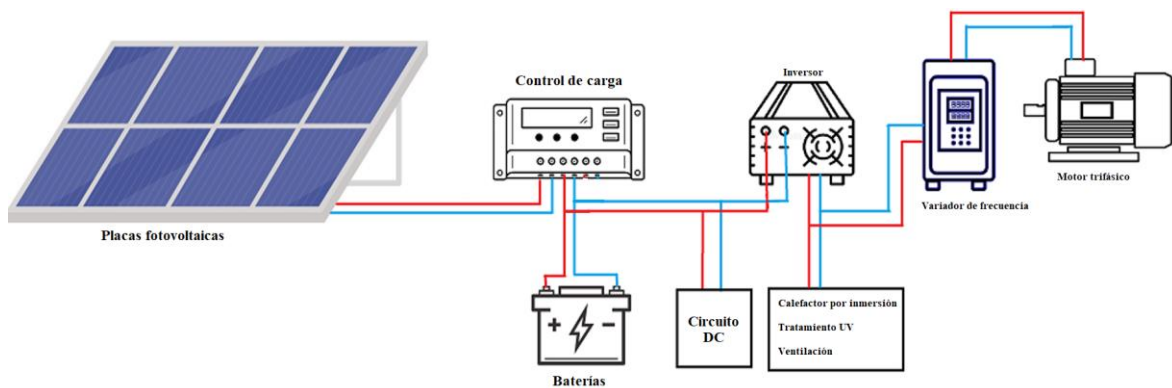


Figura 77. Esquema de la instalación eléctrica solar. [92][93] [94] [95] [96][97]

Una vez conocidas estas potencias se hace una estimación del consumo real de las instalaciones en función del uso normal que se les daría en una jornada de 24 horas. Esto nos promueve unos requerimientos energéticos mínimos que han de ser cubiertos en su totalidad por el sistema fotovoltaico. En este caso concreto, se ha obtenido un consumo de 35763 Wh al día (*4.4 Dimensionamiento de las placas solares*), aplicándole el rendimiento global de la instalación.

Una vez calculada la energía consumida total se establecen, por motivos de seguridad, una serie de parámetros como, por ejemplo: los días de autonomía o la profundidad de descarga de las baterías. Acto seguido, se seleccionan los paneles fotovoltaicos, las dimensiones de las baterías y los controladores.

Para este proyecto, se han seleccionado unos paneles fotovoltaicos (*Figura 78*) de 670 W con una eficiencia energética del 21,6%. Tras realizar los cálculos oportunos se han estimado un total de 40 paneles fotovoltaicos (*4.4 Dimensionamiento de las placas solares*), y se han dispuesto en diez grupos de cuatro paneles, conectados en paralelo, con el fin de obtener 24 V a la entrada de los controladores.



Figura 78. Placas solares RSM132-8-670BMDG.[104][105]

Cada grupo de paneles está conectado a un controlador (*Figura 79*) de 24 V y 100 A de intensidad máxima admisible (*4.5 Dimensionamiento de los controladores de las placas solares*).



Figura 79. Regulador BlueSolar Victron PWM-Pro (SCC010020110). [98]

Si aplicamos la fórmula (*4.6 Dimensionamiento de las baterías de la instalación solar*), se obtiene que el sistema necesita cuatro baterías para abastecer todas las necesidades impuestas. Además de eso, se necesitan escoger baterías acordes a las condiciones de los controladores seleccionados. En este caso, se han escogido unos módulos de baterías (*Figura 80*), formados por celdas de 2 V conectadas entre sí, que proporcionan 24 V con 4420 Ah de capacidad máxima. Como el sistema se ha seleccionado para trabajar a 24 V, las cuatro baterías se deben colocar en paralelo. Estas baterías están diseñadas especialmente para instalaciones solares y cuentan con una resistencia a las descargas profundas.



Figura 80. Batería AGM 24V 4420 Ah RITAR. [100][101]

Una vez obtenido estos elementos es necesario calcular las secciones (4.7 *Secciones de los cables del sistema*) y las protecciones de las diferentes partes del circuito (4.8 *Protecciones del sistema eléctrico*). Como puntos a destacar en estos cálculos, se han introducido unas barras de distribución para realizar algunas de las conexiones del sistema, ya que evita la selección de conductores de gran dimensión. Además, se han necesitado una serie de convertidores (*Figura 81*) que habiliten la conexión entre las barras de distribución con la parte de continua del circuito.



Figura 81. Reguladores de tensión a 12 V y 5 V. [106][107]

Para la parte del sistema que opera en corriente alterna, se ha requerido la instalación de un inversor (*Figura 83*), que se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna necesaria para el funcionamiento de los dispositivos eléctricos. Además, se ha integrado un variador de frecuencia (*Figura 82*), que permite ajustar la velocidad y el torque del motor trifásico, asegurando un control preciso y eficiente del motor en función de las necesidades operativas del sistema. Todo lo comentado queda recogido en el *Plano 7: Plano unifilar de la instalación del sistema*.



Figura 82. NFlixin 960. [102][103]



Figura 83. Inversor de corriente - VEVOR SOLAR [99]

3.4 Funcionamiento del sistema de fertiirrigación hidropónico

Para poder abastecer de agua y nutrientes las plantas cultivadas en el invernadero se ha decidido emplear un sistema recirculante de fertiirrigación hidropónico, es decir, un sistema que permite suministrar todas las necesidades a las plantas de una forma más específica e inteligente sin provocar grandes pérdidas de los suministros (agua, fertilizantes, ácidos, etc.).

Para ello, se ha diseñado un sistema que se divide en dos etapas: la primera sería la que consiste en la medición y la preparación de la solución nutritiva, y la segunda tendría como misión principal gestionar el tratamiento y circulación de ésta. Este sistema se basa en un proceso secuencial, ya que ambas partes son dependientes entre ellas y necesitan ser tratadas una vez que el proceso contrario haya finalizado.

A continuación, se explicarán cada una de las etapas del proceso, acompañado por un esquema (*Figura 84*) que complementará la explicación. Para obtener más información o detalles acerca de la distribución de los elementos, véase el *Plano 6: Planta, alzado y perfil de la estructura de la ubicación del sistema de riego*, donde se puede ver con claridad cómo se ha estructurado y definido el espacio; o bien consulte el punto *3.2.1 Distribución y materiales del sistema de riego*, donde se especifican las dimensiones y características de todos los elementos que se van a mencionar.

Primera etapa: preparación de la solución nutritiva

Esta etapa comienza con la liberación de los fertilizantes, provenientes de varios depósitos (*Figura 84. A*), hacia uno más grande donde se realiza la mezcla (*Figura 84. B*). Para poder controlar la apertura de los depósitos de fertilizante (*Figura 84. A*) se usarán electroválvulas (*Figura 84. J*) y sensores de nivel (*Figura 80. K*), que a su vez permitirán no sólo controlar la cantidad de los tanques (*Figura 84. A-E*) sino también la cantidad que se esté vaciando. Las cantidades de fertilizantes que se verterán están predefinidas en el código del programa, aunque se permitirá al usuario cambiarlas antes de cualquier preparación.

Una vez vertidos todos los fertilizantes en el depósito de mezcla (*Figura 84. B*), se procede a llenarlo con la cantidad necesaria de agua para comenzar a realizar la solución nutritiva, cuyo estado es conocido gracias al sensor de nivel implementado (*Figura 84. K*). Para poder reducir y simplificar el diseño, se ha tomado la decisión de colocar los depósitos a diferentes niveles (*Figura 84. A-E*), consiguiendo así limitar el número de maquinaria necesaria. Además, si se instala el depósito de mezcla (*Figura 84. B*) bajo tierra se conseguirá favorecer el movimiento de los líquidos, al tener los otros depósitos por encima (*Figura 84. A, C y D*); y será más fácil controlar su estado, al ser menos susceptible al impacto de fenómenos externos (cambios climáticos y otros factores de riesgo).

Cuando las cantidades pertinentes estén dentro del depósito (*Figura 80. B*), comienza el proceso de mezclado. Mediante la activación de tres relés (*Figura 84. Q*) se realiza el accionamiento de un calentador de inmersión (*Figura 84. H*), para establecer la solución nutritiva a una temperatura específica; y una electroválvula (*Figura 84. J*) junto a una bomba hidráulica (*Figura 84. F*) que permite al contenido del depósito (*Figura 84. B*) circular por un circuito cerrado de tuberías, haciendo que este movimiento continuo se encargue de mezclar los fertilizantes y formar la solución. Durante el mezclado de los fertilizantes intervienen una serie de sensores, que permiten cuantificar los valores de pH (*Figura 84. M*), conductividad eléctrica (*Figura 84. N*) y temperatura (*Figura 84. L*).

Durante la lectura de los sensores (*Figura 84. M-L*) puede ocurrir que los valores no sean los esperados, y si esto llegara a pasar surgirían tres posibles escenarios:

- Si la temperatura no llegara al mínimo, se tendría que realizar mediciones de forma continua (*Figura 84. L*) para comprobar posibles variaciones. En caso de que no se noten cambios, supondría un fallo con el calentador de inmersión (*Figura 84. H*) y se tendría que notificar. Si por el contrario las temperaturas aumentan con el tiempo, sería necesario esperar y seguir revisando (*Figura 84. L*).
- Si la temperatura sobrepasa el límite superior, se apagaría el calentador de inmersión (*Figura 84. H*), y al igual que antes se realizarían mediciones periódicas (*Figura 84. L*). En caso de que no hubiera ningún cambio, se detendría el proceso de riego y se notificaría.
- Si las lecturas de los sensores de pH y/o conductividad eléctrica (*Figura 84. M y N*) fueran erróneas, supondría que, o bien los sensores tienen algún problema, o bien la mezcla ha salido defectuosa. Si llegara a pasar lo segundo, la mezcla se tendría que desestimar y empezar de nuevo, ya que la solución se ha preparado al detalle.

Segunda etapa: distribución y tratamiento de la solución nutritiva

Anteriormente se explicaba el uso de un circuito recirculante de tuberías para realizar la mezcla mediante una bomba hidráulica (*Figura 84. F*). En este apartado se suma un nuevo uso a este circuito, ya que existe una electroválvula de tres vías (*Figura 84. I*) que permite añadir una nueva función, siendo esta permitir el paso de la fórmula nutritiva por los cultivos. La electroválvula (*Figura 84. I*) se pondrá en posición de circuito cerrado cuando los sensores del apartado anterior (*Figura 84. M-L*) detecten valores no permitidos; y en caso de obtener parámetros acordes a los especificados, se pondrá en posición de circuito abierto permitiendo el paso de la solución al cultivo.

El sistema escogido para la plantación de los cultivos consiste en un conjunto de multibandas, colocadas en pendiente con la finalidad de ayudar al curso del agua. Las cualidades más importantes de este sistema son: la capacidad de poder administrar la solución de una forma sencilla, oxigenada y equitativa para todo el cultivo; y la posibilidad

de recoger los lixiviados¹⁹ del sistema para poder reutilizarlos. También se ha decidido colocar un caudalímetro (*Figura 84. O*) al principio y al final del recorrido del riego con el fin de obtener una forma de conocer posibles fugas. Además, se podría utilizar para ajustar la solución con los datos obtenidos, ya que se estaría conociendo la absorción del cultivo.

Los restos de la solución nutritiva que se recojan del invernadero (*Figura 84. G*) tendrán que ser tratados para poder ser reutilizados. Por este motivo se ha tomado la decisión de hacer que la solución pase por: un filtro de malla (*Figura 84. P*), un filtro de desinfección de rayos ultravioletas (*Figura 84. T*) y un sensor de conductividad eléctrica (*Figura 84. N*). Una vez finalizado el proceso de filtrado se mantiene en un tanque de almacenamiento; y dependiendo del valor obtenido por el sensor de conductividad eléctrica (*Figura 84. N*) se tomará una decisión: si la conductividad se encuentra dentro de los márgenes adecuados, el contenido almacenado (*Figura 84. C*) se reutilizará en el próximo riego; en caso de que sobrepase los límites, se deberá expulsar por medio de una electroválvula a otro depósito externo (*Figura 84. E*) para que reciba un tratamiento diferente y se use en otras aplicaciones. También se colocarán sensores de nivel (*Figura 84. K*) para evitar posibles fugas o excesos.

El agua que se utiliza para fabricar la solución en el apartado anterior procede de tres posibles fuentes: la primera son los restos recogidos y filtrados del riego, la segunda proviene de un depósito pluvial (*Figura 84. D*) y la tercera es el agua corriente (*Figura 84. S*). Cabe destacar que toda el agua que salga del depósito pluvial (*Figura 84. D*) deberá seguir el mismo tratamiento que el agua reciclada. El sistema dará prioridad al agua reutilizada en primer lugar, seguido de la almacenada en el depósito (*Figura 84. C*) y finalmente al agua corriente. Este orden de prioridades viene dado por el uso de una electroválvula de tres vías (*Figura 84. I*) y un sensor de nivel (*Figura 84. K*) colocado en el depósito pluvial (*Figura 84. D*). Si el agua reciclada fuera insuficiente para cubrir un nuevo riego, otra electroválvula (*Figura 84. J*) permitiría el paso del contenido del depósito pluvial (*Figura 84. D*). En caso de que este depósito carezca de la cantidad necesaria para cubrir las necesidades del riego, se llenará mediante el accionamiento de una electroválvula (*Figura 84. J*) con conexión directa al agua corriente.

Este proceso se ha diseñado de esta manera meticulosa con el objetivo principal de minimizar al máximo el consumo del agua. De esta forma, se garantiza que el invernadero (*Figura 84. G*) sea lo más respetuoso posible con el medio ambiente, promoviendo una agricultura sostenible y responsable. Este enfoque no solo contribuye a la conservación de recursos hídricos, sino que también asegura una mayor eficiencia en el uso del agua, reduciendo los desperdicios y el impacto ambiental asociado al riego tradicional.

¹⁹ Soluciones acuosas que han pasado a través del sustrato o medio de cultivo utilizado para sostener las plantas de un sistema hidropónico. Los lixiviados pueden contener nutrientes disueltos y otras sustancias que se han lavado del medio del cultivo.

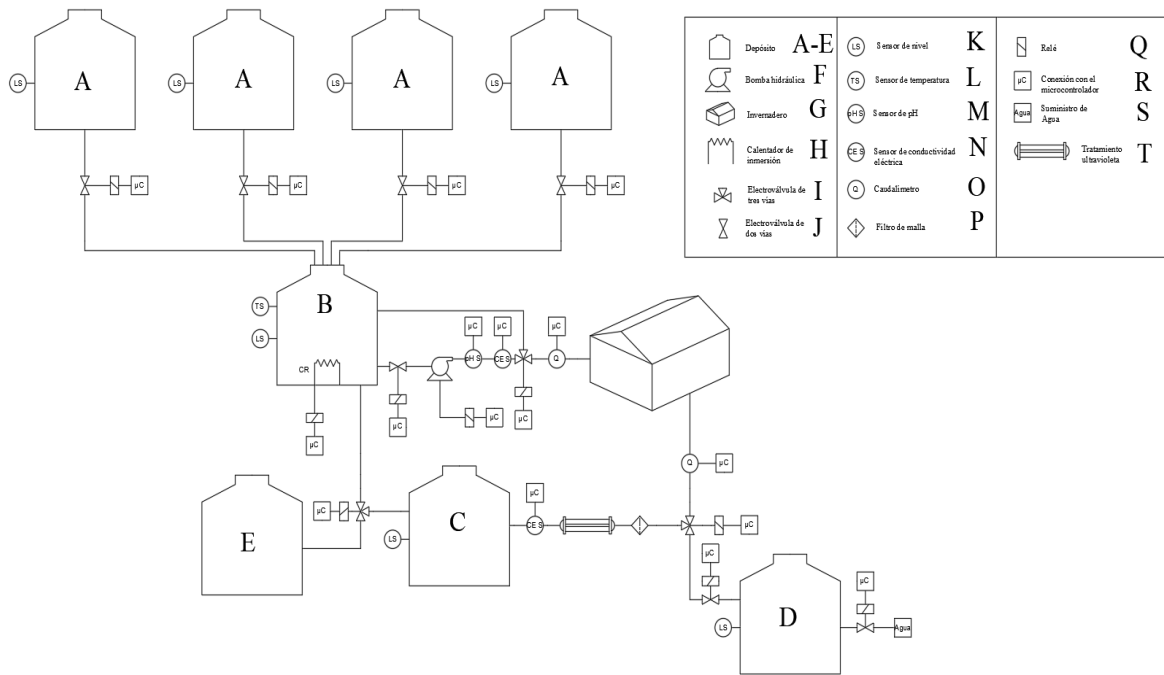


Figura 84. Esquema del sistema desarrollado.

3.4 Selección de los fertilizantes

Las ciencias relacionadas con los seres vivos son cambiantes e inexactas, es decir, para un mismo sujeto de estudio pueden obtenerse diferentes resultados. La elección de un fertilizante es un proceso largo que depende de la evolución del cultivo. Puesto que, si no se realiza una observación constante, no se puede afirmar que los resultados vayan a ser óptimos. A pesar de tratarse de un método de prueba y error, actualmente se pueden encontrar guías que te ayuden a seleccionar fertilizantes y cantidades, pero no aseguran que los resultados vayan a ser los esperados.

Por este motivo se ha decidido que en este proyecto se realice un sistema de riego que tenga la capacidad de aportar los nutrientes necesarios a los cultivos, mediante un uso responsable y sostenible del agua de riego. Para ello se realizará un estudio previo basándose en las necesidades teóricas del cultivo, con el fin de encontrar la mejor solución nutritiva que pueda satisfacer sus requerimientos. A continuación, se mostrará el proceso y resultado de esta investigación.

3.4.1 Estudio previo de las condiciones del entorno y cultivo

El primer paso sería conocer las necesidades hídricas del cultivo para poder realizar con la mayor exactitud el cálculo de nutrientes y abastecimientos necesarios. Este tipo de información es considerada ambigua, pese a la gran cantidad de estudios realizados a lo largo del tiempo ya que, cada estudio se ha realizado bajo unas condiciones climáticas y geológicas

específicas con diferentes niveles tecnológicos. Además, se debe tener en cuenta que los cultivos son seres vivos y sus necesidades van variando a medida que el sistema y entorno cambie, provocando que se establezcan diferentes valores en los diferentes estudios al ser datos recogidos mediante la experimentación y observación.

Por estos motivos, se ha decidido establecer en este trabajo los valores obtenidos de Paranjpe para los macroelementos, por ser el estudio más reciente y los de la Dr. Lynette Morgan para los microelementos de su libro *Hydroponic Strawberry Production – A technical guide to the hydroponic production of strawberries*, por haber obtenido dichos valores al estar bajo condiciones similares a las del trabajo. Los parámetros con los que se trabajará serán los siguientes:

Macronutriente	Compuesto	Cantidad en mEq/L
Nitrato	NO ₃	4,3
Amonio	NH ₄	0,7
Fosfato dihidrico	H ₂ PO ₄	2
Potasio	K	2,2
Calcio	Ca	4,8
Magnesio	Mg	2
Sulfato	SO ₄	3,4
Bicarbonato	HCO ₃	-
Cloro	Cl	-
Sodio	Na	-
Micronutrientes	Compuesto	Cantidad en p.p.m
Hierro	Fe	5
Manganeso	Mn	2
Cobre	Cu	0,07
Zinc	Zn	0,25
Boro	B	0,7
Molibdeno	Mo	0,05
Nombre	Cantidad	
pH	6 – 7	

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1000 - 1800
--------------------------------	-------------

Tabla 22. Concentración de macronutrientes y micronutrientes en la solución nutritiva para la fresa en hidroponía en mEq/L.[84][85]

El siguiente aspecto a tener en cuenta sería la composición del agua de riego que se va a suministrar. En este caso se ha optado por estudiar la composición del agua de varias zonas de Tarragona con la ayuda de documentos extraídos del portal web de Ematsa, compañía suministradora de agua. Según los últimos informes de ensayos se pueden establecer los siguientes valores promedio:

Macronutriente	Compuesto	Cantidad en mg/L
Nitrato	NO_3	2,80
Amonio	NH_4	-
Fosfato dihidrico	H_2PO_4	-
Potasio	K	11,73
Calcio	Ca	32,06
Magnesio	Mg	4,861
Sulfato	SO_4	48,03
Bicarbonato	HCO_3	134,41
Cloro	Cl	-
Sodio	Na	-
Nombre	Cantidad	
pH	7,9	
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1386	

Tabla 23. Concentración de macronutrientes del agua de Tarragona en mg/L.

3.4.2 Abastecimiento hídrico del sistema

Hacer una previsión del consumo de agua no solo garantiza que las plantas reciban la cantidad necesaria de agua, sino que también permite una gestión eficiente de los recursos hídricos. De esta forma, se evita su desperdicio, se reducen los costes y se minimiza el impacto ambiental.

Planificar el uso del agua aporta sostenibilidad al sistema de riego, asegurando así un equilibrio hídrico para el cultivo durante todo el tiempo. Con esta previsión, se puede adaptar el sistema de riego a las variaciones climáticas y estacionales, mejorando así la resistencia del cultivo frente a posibles cambios y garantizando una producción más estable y eficiente. Para este proyecto se ha realizado una previsión del número de plantas y de la cantidad de agua que necesitan para subsistir (*Tabla 24*)

Concepto	Valor	Concepto	Valor
Previsión de plantas	3640	Abastecimiento Hídrico	1638 – 2184 L/día

Tabla 24. Límites del consumo hídrico y volumen de cultivo.

3.4.3 Tiempos de riego según el crecimiento de la planta

Como todo ser vivo, una planta tiene diferentes necesidades dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentre. A la hora de escoger los tiempos y las cantidades de riego, los agricultores se basan en la experiencia y en unas tablas especiales, que marcan unas especificaciones aproximadas dependiendo del desarrollo del cultivo (*Figura 78*)

Gracias a la *Tabla 23*, se conoce el abastecimiento hídrico diario, lo que facilita la programación de los riegos. Sabiendo la cantidad de solución que se debe suministrar cada día, solamente sería necesario dividir el riego por tiempos. En este proyecto, se establecerán riegos predeterminados con diferentes duraciones para liberar la cantidad diaria necesaria. Además, se proporcionará al usuario la capacidad de escoger los tiempos de riego. Esto implica que se satisfarán las necesidades del cultivo independientemente del nivel de conocimiento que tenga el usuario sobre los procesos del mismo.

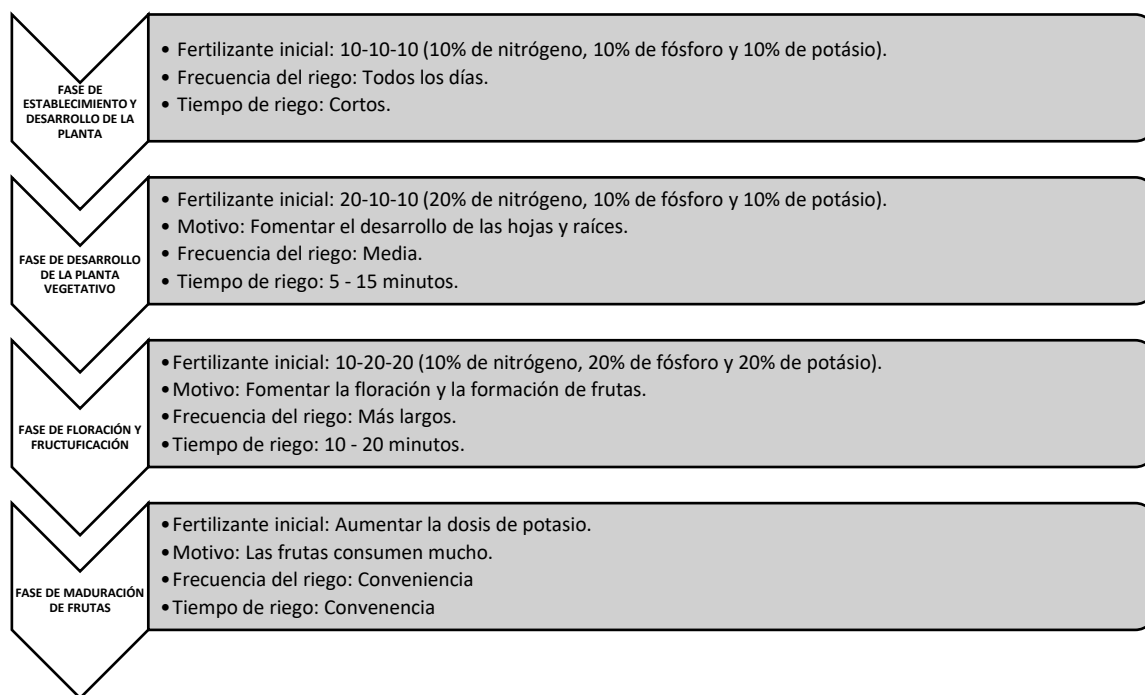


Figura 85. Anotaciones y condiciones hídricas de las fresas dependiendo de la fase de desarrollo. [84][85]

Como se comentó al principio, las tablas que se proporcionan a los agricultores no son muy específicas. Al observar las condiciones y anotaciones mostradas en la *Figura 85*, se refuerza aún más el planteamiento inicial de realizar todo desde cero, adoptando un enfoque más científico y organizado.

3.4.4 Propuesta y manejo de la solución nutritiva

Tras establecer los parámetros necesarios, se pasa a realizar el ajuste de la solución nutritiva donde se seleccionan los fertilizantes y las cantidades acordes a las necesidades impuestas con anterioridad. A continuación, se muestra una tabla que recoge los fertilizantes necesarios para el sistema de fertirrigación, junto a las cantidades límites que se deben suministrar para un riego diario y durante toda la temporada de una plantación (*Tabla 25*).

Aportes	Compuesto	Cantidades diarias (Kg - L)		Cantidades Totales (Kg - L)	
		Min	Max	Min	Max
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,477	0,636	100,167	133,556
Ácido fosfórico	H_3PO_4	0,214	0,285	44,947	59,929

Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	0,189	0,252	39,673	52,897
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	0,089	0,119	18,726	24,968
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	0,214	0,286	44,967	59,956
Sulfato de magnesio	MgSO ₄	0,141	0,188	29,653	39,537
Micronutrientes		0,109	0,1456	22,932	30,576

Tabla 25. Límites de cantidades de los fertilizantes que se emplearán en la solución nutritiva durante un día y toda su vida.

Después se deberá seleccionar el número de depósitos dependiendo de la compatibilidad que exista entre los fertilizantes, evitando así que precipiten o colisionen entre ellos. Para conocer las compatibilidades se usan tablas especializadas que te informan del posible estado que podría tener un fertilizante en caso de ser mezclado con otro en un mismo depósito. También existe la posibilidad de usar un depósito diferente para cada fertilizante, pero no se considera viable esta solución a causa del aumento del consumo energético y económico.

Hoy en día se busca seleccionar depósitos en función de un número de riegos, es decir, se calcula de forma aproximada la cantidad necesaria de fertilizante que se usaría en un número específico de riegos, y a partir de ahí se seleccionan las capacidades de los depósitos. Para finalizar el proceso se mostrará una tabla que recoge todos los parámetros necesarios relacionados con el fertilizante para el invernadero objeto de este trabajo (*Tabla 26*).

Aportes	Compuesto	Cantidades para 15 días de riego (Kg - L)		Compatibilidad Capacidad del depósito (L)
		Min	Max	
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	7,155	9,540	20
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	2,834	3,778	
Micronutrientes		1,638	2,184	

Sulfato de potasio	K_2SO_4	3,212	4,283	10
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	1,338	1,783	
Ácido fosfórico	H_3PO_4	3,210	4,281	5
Sulfato de magnesio	$MgSO_4$	2,118	2,824	5

Tabla 26. Límites de cantidades de los fertilizantes que se emplearán en la solución nutritiva durante un día y toda su vida.

Con estas cantidades se puede realizar una solución nutritiva óptima que garantice un buen desarrollo de las plantas y una buena cosecha para la mayoría de escenarios. Cabe mencionar, como ya se dijo anteriormente, que para un cultivo de la mejor calidad posible sería estrictamente necesario realizar un estudio experimental en la ubicación objetivo, con múltiples variantes de cultivos y diferentes combinaciones nutricionales.

3.5. Implementación del Microcontrolador: Código, Conexiones y Programación

3.5.1 Microcontrolador y Placa seleccionados

El Arduino Mega V3 está equipado con el microcontrolador ATmega2560 (Figura 58), un procesador de 8 bits de alto rendimiento basado en la arquitectura AVR RISC (Reduced Instruction Set Computer)²⁰ desarrollado por Microchip Technology. Este microcontrolador es conocido por su versatilidad y amplio uso en proyectos electrónicos, siendo especialmente adecuado para plataformas de desarrollo como el Arduino Mega. Entre los beneficios que ofrece el ATmega2560 se destacan:

- **Amplia Variedad de Pines:** Dispone de 86 pines de entrada/salida (E/S), permitiendo la conexión de numerosos dispositivos periféricos. Su capacidad, flexibilidad y eficiencia lo hacen ideal para proyectos que requieren alta integración y control.
- **Robustez y Confiabilidad:** La arquitectura RISC optimizada del ATmega2560 asegura estabilidad y un rendimiento eficiente.
- **Bajo Consumo de Energía:** Ofrece múltiples modos de ahorro energético, lo que es ideal para aplicaciones con limitaciones de energía.
- **Versatilidad en Aplicaciones:** Es adecuado para una variedad de usos, incluyendo robótica, automatización industrial, IoT y sistemas embebidos.
- **Periféricos Integrados:** Incluye interfaces UART, I2C, SPI, temporizadores, un convertidor analógico-digital (ADC) de 16 canales y moduladores de ancho de pulso (PWM), facilitando la integración de múltiples funciones.
- **Memoria Abundante:** Proporciona 256 KB de memoria flash, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM, permitiendo el desarrollo de aplicaciones grandes y complejas.

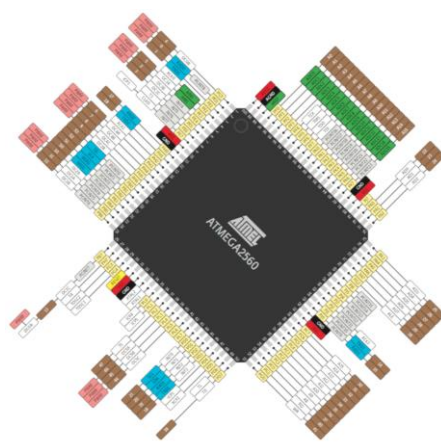


Figura 86. Esquema de los pines del microcontrolador ATmega2560.

²⁰ Tipo de diseño de CPU generalmente utilizado por microprocesadores o microcontroladores. Se les conocer por tener instrucciones de tamaño fijo y presentadas en un formato reducido. Solamente las instrucciones de carga y almacenamiento acceden a la memoria de datos.

3.5.2 Configuración y Funcionalidad de los Pines en la Placa

La configuración y funcionalidad de los pines en una placa de desarrollo son esenciales para su correcta utilización. Cada pin ofrece distintas capacidades, como entrada/salida digital y comunicación con periféricos. Este apartado detalla cómo se distribuyen los pines, sus funciones específicas y cómo se integran en el proyecto. La siguiente tabla recoge todo lo mencionado.

Registro de datos del Puerto A (PORTA)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
HC-SR04 (1)	PA0 (O) – D22	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito de fertilizante del nitrato y micronutrientes. El PA0 es el pin Trigger y el PA1 es el pin Echo.
HC-SR04 (1)	PA1 (I) – D23	
HC-SR04 (2)	PA2 (O) – D24	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito de fertilizante de sulfato de potasio y fosfato. El PA2 es el pin Trigger y el PA3 es el pin Echo.
HC-SR04 (2)	PA3 (I) – D25	
HC-SR04 (3)	PA4 (O) – D26	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito del ácido. El PA4 es el pin Trigger y el PA5 es el pin Echo.
HC-SR04 (3)	PA5 (I) – D27	
HC-SR04 (4)	PA6 (O) – D28	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito de fertilizante del sulfato de magnesio. El PA6 es el pin Trigger y el PA7 es el pin Echo.
HC-SR04 (4)	PA7 (I) – D29	
Registro de datos del Puerto B (PORTB)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Relé ch 8 (2)	PB2 (O) – D51	Canal 8 del relé de 8 canales, conectado a la ventilación.
Relé ch 7 (2)	PB3 (O) – D50	Canal 7 del relé de 8 canales, conectado a la iluminación.
Registro de datos del Puerto C (PORTC)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
HC-SR04 (5)	PC0 (O) – D30	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito pluvial. El PC0 es el pin Echo y el PC1 es el pin Trigger.
HC-SR04 (5)	PC1 (I) – D31	
HC-SR04 (6)	PC2 (O) – D32	

HC-SR04 (6)	PC3 (I) – D33	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito de tratamiento. El PC2 es el pin Echo y el PC3 es el pin Trigger.
HC-SR04 (7)	PC4 (O) – D34	Sensor de ultrasonidos utilizado para leer el nivel del depósito de mezcla. El PC4 es el pin Echo y el PC5 es el pin Trigger.
HC-SR04 (7)	PC5 (I) – D35	
Relé ch 1 (1)	PC6 (O) – D36	Canal 1 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías del tanque de nitrato y micronutrientes. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Relé ch 2 (1)	PC7 (O) – D37	Canal 2 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías del tanque de sulfato de potasio y fosfato. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Registro de datos del Puerto D (PORTD)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Módulo 12C	PD0 (O) – D20	El módulo I2C se conecta a los pines SCL (PD0) y SDA (PD1) para poder mostrar por la pantalla de 16x2 el estado del sistema.
Módulo 12C	PD1 (I/O) – D21	
Relé ch 3 (1)	PC7 (O) – D38	Canal 3 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías del ácido. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Registro de datos del Puerto F (PORTF)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Potenciómetro	PF0 (I) – D54	Lectura ADC0 - Potenciómetro
Pt100	PF1 (I) – D55	Lectura ADC1 – Sensor Pt100
S. C. Elec (1)	PF2 (I) – D56	Lectura ADC2 – Sensor conductividad eléctrica
S. C. Elec (2)	PF3 (I) – D57	Lectura ADC3 – Sensor conductividad eléctrica
pH	PF4 (I) – D58	Lectura ADC4 – Sensor de pH
LDR	PF5(I) – D59	Lectura ADC4 – Sensor LDR
DHT11	PF6(I) – D60	Lectura digital del Sensor DHT11
Registro de datos del Puerto F (PORTG)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Relé ch 6 (1)	PG0 (I) – D41	Canal 6 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías que permite el paso de agua

		corriente al tanque pluvial. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Relé ch 5 (1)	PG1 (I) – D40	Canal 5 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías que permite la salida del tanque pluvial. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Relé ch 4 (1)	PG2 (I) – D39	Canal 4 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 2 vías del tanque de sulfato de magnesio. Se pone la salida a nivel alto (electroválvula normalmente abierta).
Registro de datos del Puerto K (PORTK)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Relé ch 1 (3)	PK0 (1) – D62	Canal 1 y 2 del relé de 4 canales, conectado a la electroválvula de 3 vías del tanque pluvial-invernadero-tratamiento. Dependiendo de la configuración de PJ0 y PJ1 se encuentra de una forma u otra. Inicialmente se pone a nivel bajo PJ0 y a nivel bajo PJ1.
Relé ch 2 (3)	PK1 (1) – D63	
Relé ch 3 (3)	PK2 (1) – D64	Canal 3 y 4 del relé de 4 canales, conectado a la electroválvula de 3 vías del tanque de mezcla-invernadero-mezcla. Dependiendo de la configuración de PJ0 y PJ1 se encuentra de una forma u otra. Inicialmente se pone a nivel bajo PJ0 y a nivel bajo PJ1.
Relé ch 4 (3)	PK3 (1) – D65	
Registro de datos del Puerto F (PORTL)		
Componente	Pin (I/O)	Descripción (Uso)
Relé ch 6 (2)	PL0 (1) – D49	Canal 5 del relé de 8 canales, conectado al a L3 del motor trifásico.
Relé ch 5 (2)	PL1 (1) – D48	Canal 4 del relé de 8 canales, conectado al a L2 del motor trifásico.
Relé ch 4 (2)	PL2 (1) – D47	Canal 3 del relé de 8 canales, conectado al a L1 del motor trifásico.
Relé ch 3 (2)	PL3 (1) – D46	Canal 3 del relé de 8 canales, conectado al tratamiento ultravioleta.
Relé ch 2 (2)	PL4 (1) – D45	Canal 2 del relé de 8 canales, conectado al calentador de inmersión.
Relé ch 1 (2)	PL5 (1) – D44	Canal 1 del relé de 8 canales, conectado a la bomba hidráulica.

Relé ch 7 (1)	PL6 (1) – D43	Canal 7 y 8 del relé de 8 canales, conectado a la electroválvula de 3 vías del tanque mezcla – al de tratamiento. Dependiendo de la configuración de PL6 y PL7 se encuentra de una forma u otra. Inicialmente se pone a nivel bajo PL7 y a nivel bajo PL6.
Relé ch 8 (1)	PL7 (1) – D42	
Configuraciones Adicionales		
Tipo	Descripción (Uso)	
INT2	La interrupción se activará cuando se detecte un flanco de bajada en el PD2. Inicialmente se encuentra habilitada y sirve para detectar la pulsación de un botón de confirmación.	
INT3	La interrupción se activará cuando se detecte un flanco de subida en el PE4. Inicialmente se encuentra deshabilitada y sirve para detectar la pulsación de un botón de puesta en marcha del riego.	
INT4	La interrupción se activará cuando se detecte un flanco de subida en el PE4. Inicialmente se encuentra deshabilitada y sirve para detectar los pulsos del caudalímetro inicial.	
INT5	La interrupción se activará cuando se detecte un flanco de subida en el PE5. Inicialmente se encuentra deshabilitada y sirve para detectar los pulsos del caudalímetro inicial.	
TIMER 1	Timer 1 del Arduino Mega 2560 para generar una interrupción cada 2 segundos utilizando el modo CTC (Clear Timer on Compare Match). Para la utilización de este temporizador se ha establecido un preescaler de 1024.	

Tabla 27. Configuración de los puertos.

3.5.2 Conceptos previos del programa

Para la implementación de este programa, se ha optado por generar una clase que almacena y gestiona todo el sistema. El uso de una clase ofrece varias ventajas y utilidades que facilitan el desarrollo, mantenimiento y actualización del código. Por estas razones, el programa utiliza una clase que contiene los parámetros más importantes y las funciones asociadas a ellos. Además, el uso de una clase ofrece seguridad ante posibles cambios futuros en el proyecto, como el aumento en el número de invernaderos o la incorporación de nuevas funcionalidades.

3.5.4 Inicios del programa

Cuando el programa se inicia por primera vez, se inicializan todas las variables y funciones necesarias para el funcionamiento de la placa Arduino Mega REV3. Estas

inicializaciones se realizan tanto dentro de la función **void setup ()** (Anexo 10.4) como fuera de ella. Principalmente, dentro de la función se configuran los comportamientos de los distintos módulos y funciones de la placa, así como los muestreos iniciales requeridos por el sistema, como la lectura de la capacidad de los tanques al inicio o la temperatura inicial del invernadero. Las variables que se inicializan fuera de **void setup ()** (Anexo 10.4) son aquellas que se utilizan en diferentes partes del código y la clase creada para este proyecto. Una vez que se han establecido todos los parámetros necesarios, comienza la función que se va a ejecutar de forma continua **void loop ()** (Anexo 10.5).

3.5.5 Funcionamiento básico del programa

Como se ha mencionado anteriormente, la función **void loop ()** (Anexo 10.5) se ejecuta de manera continua y periódica. Esta función es responsable de gestionar el funcionamiento del sistema, llamando a las funciones y variables necesarias en cada momento. Además, se ha utilizado el concepto de "polling" (Figura 87) en la programación. Esta técnica se basa en la verificación continua de recursos en intervalos regulares, en lugar de esperar interrupciones o eventos.

Si el programa no detecta ninguna condición que requiera acción, no realizará ninguna tarea y entrará en un modo de "sleep" para minimizar el consumo de energía. El microcontrolador permanecerá en este estado de bajo consumo hasta que se produzca un evento que requiera su atención o se especifique otro comportamiento. En este caso, reducir el consumo energético es una buena práctica, ya que el sistema está alimentado por placas solares.

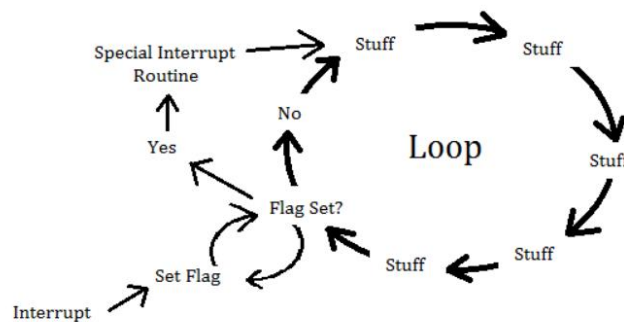


Figura 87. Funcionamiento del método Polling en programación.

En este caso, cuando el microcontrolador no recibe ningún evento, se dedicará a analizar el estado del invernadero, midiendo sus parámetros y mostrándolos en pantalla para que el usuario pueda conocer el estado de los cultivos.

3.5.6 Preparación del riego

Cuando el usuario necesita realizar un riego tendrá que pulsar un botón que, de inicio al proceso de preparación de la mezcla, hasta ese momento solamente se conocían el contenido de los depósitos, gracias a un conjunto de funciones pertenecientes a la clase diseñada. Las funciones encargadas de realizar este proceso son las siguientes:

- **lectura_HCSR04 ()** (Anexo 10.9): es una función que se encarga de realizar las mediciones del sensor de ultrasonidos HC-SR04 y convertir la distancia en litros. Para ello se le tienen que pasar los pines Trigger y Echo de cada sensor. Al terminar la lectura (1) la función realiza un factor de conversión (2) y devuelve los litros que hay en cada depósito.

$$\text{Distancia (cm)} = \text{Duración del pulso } (\mu\text{s}) \cdot 0,0343 \left(\frac{\text{cm}}{\mu\text{s}}\right) \cdot 0,5 \quad (1)$$

$$\text{Litros(L)} = (\text{Altura del depósito (cm)} - \text{Distancia (cm)}) \cdot \text{factor de conversión } \left(\frac{\text{L}}{\text{cm}}\right) \quad (2)$$

Los 0,0343 cm/ μ s representan la velocidad del sonido en otras unidades, y el factor 0,5 se debe a que el pulso viaja desde el sensor hasta el objeto y luego regresa. La distancia medida por el sensor se convierte en un valor de capacidad utilizando un factor de conversión específico para cada caso. Por ejemplo, para un depósito de 45 cm de altura y 20 L de capacidad, se puede calcular que 10 L corresponden a una altura de 22,5 cm. Este factor de conversión se aplica para obtener la medida correcta, ya que no se utilizan los extremos del depósito. Así, si el sensor lee 0 cm, el depósito está lleno, mientras que una lectura de 45 cm indica que el depósito está vacío (ver Figura 88).

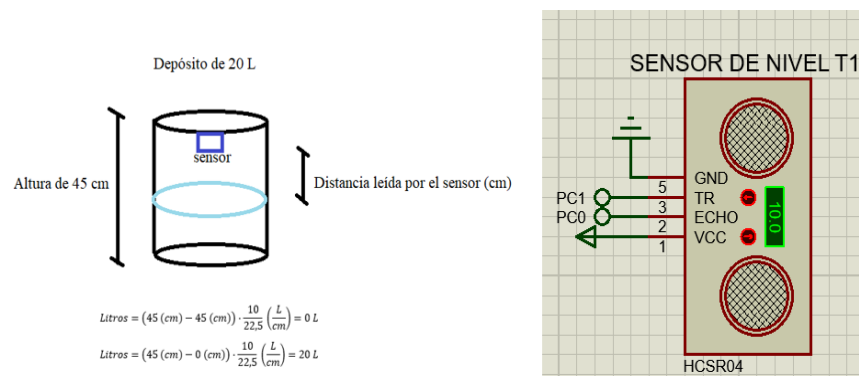


Figura 88. Funcionamiento de la lectura del sensor HC-SR04 y conexión.

- **Comprobar_valor ()** (Anexo 10.10): esta función se encarga de avisar al usuario de los posibles problemas que haya habido durante la medición inicial de los depósitos. Mediante un *switch-case* va comprobando si los litros medidos por el sensor entran dentro de los valores esperados o no. En caso de no estarlos, llama a la función **avisos_tratamientos_error ()** (Anexo 10.11), encargada de avisar, a través de una pantalla LCD, de cualquier problema que esté ocurriendo en el sistema. En este caso,

puede avisar de que los tanques se encuentran a un 10% de estar vacío o avisar de la insuficiencia del tanque pluvial. *Comprobar_valor ()* (Anexo 10.10) también es capaz de contar el número de errores cometidos durante cada medición y si llega a un número estipulado, se parará hasta que el problema sea arreglado.

Si las mediciones iniciales son correctas y el usuario pulsa el botón para iniciar el riego, comenzará con el proceso. Primero se ejecutará la función *gestionar_lecturas ()* (Anexo 10.14), que pedirá al usuario que elija los parámetros de riego, siendo estos los siguientes: opción de riego personalizada/predeterminada y número de riegos. Si el usuario selecciona “predeterminado”, se utilizarán las cantidades calculadas en el proyecto durante el riego. Si selecciona “personalizado”, el usuario tendrá la capacidad de seleccionar los litros de agua y fertilizante que quiera usar en la solución del riego. Las selecciones se realizarán por medio de la lectura de un potenciómetro (*lectura_potenciometro ()* (Anexo 10.12)) y la pulsación del botón de confirmación (*ISR_2 ()* (Anexo 10.2)). Si el proceso de lectura y almacenaje ha sido correcto se pasará al siguiente paso del proceso de riego, en caso de que haya sucedido algún problema se comunicará por medio de *avisos_tratamientos_error ()* (Anexo 10.11).

Una vez almacenados los valores, se procede a comprobar que los parámetros establecidos sean correctos por medio de la función *tomar_decision ()* (Anexo 10.15). Esta función se utiliza para asegurarse de que las cantidades almacenadas tengan sentido y puedan ser empleadas sin problemas. La decisión se almacenará en un número de 0-2 y se pasará como parámetro a la función *preparar_riego ()* (Anexo 10.18). Dentro de esta función se utiliza un *switch-case* para ver qué camino toma el programa:

- Si la decisión ha sido 0: se informa al usuario que no se realizará el riego por cantidades excesivas o imposibles (*avisos_tratamientos_error ()* (Anexo 10.11)) y acto seguido se reiniciará el programa.
- Si la decisión ha sido 1: se confirma el proceso de riego y se comienzan a vaciar los tanques (previamente ha colocado los relés en el estado oportuno). Con la función *lectura_HCSR04 ()* (Anexo 10.9) se conocen los litros que van saliendo por el depósito. Al terminar pone el valor de la decisión a 3.
- Si la de decisión es 2: el usuario ha escogido cantidades nulas para el riego, se le informará (*avisos_tratamientos_error ()* (Anexo 10.11)) y acto seguido se reiniciará el programa.
- Si la decisión es 3: El proceso de vaciado de los riegos se ha realizado con éxito y se da paso al mezclado y control de la mezcla.

Una vez vaciados los depósitos, se inicia el proceso de mezcla *mezclado_comprobacion ()* (Anexo 10.18). En esta función se accionan los relés necesarios y se activan la bomba hidráulica y el calentador por inmersión. Cuando todo esto comienza, se activa el Timer 1, para que contabilice que el proceso no sea superior a la hora establecida. Durante cada minuto el temporizador llama a la función *parametros_solucion ()* (Anexo

10.19) y almacena los parámetros de la solución (temperatura, conductividad eléctrica y conductividad eléctrica). Entonces ocurren varios escenarios posibles:

- La solución está lista antes de la hora: cuando esto ocurre, el proceso de riego sigue adelante.
- La solución no está lista antes de la hora: se llama a la función *motivos_no_riego ()* (Anexo 10.20) y se comprueba el estado de los parámetros. Si la solución tiene unos parámetros aceptables se avisa (*avisos_tratamientos_error ()* (Anexo 10.11)) y se procede a regar, aunque la solución no sea correcta. Por el contrario, si alguno de los parámetros se encuentra en un margen de peligro, se avisará al usuario (*avisos_tratamientos_error ()*(Anexo 10.11)) de que el riego no se realizará y se reseteará el sistema. Luego el usuario deberá vaciar el depósito de forma manual.

Lo que queda del proceso de riego es vaciar el depósito de la solución con el número de riegos especificado por el usuario. Para ello, se ejecuta la función *Riego_final ()* (Anexo 10.21), que es la encargada de comprobar que los litros y el caudal sean los correctos. Para realizar esta tarea de forma adecuada, se necesita la ayuda del Timer 1 y la función *control_caudal ()* (Anexo 10.3). El Timer 1 se encargará de asegurar que el tiempo entre riegos sea de una hora y el *control_caudal ()* (Anexo 10.3) tendrá la función de calcular el caudal y los litros que circulan por el sistema.

La función *control_caudal ()* (Anexo 10.3) depende de las interrupciones 4 y 5 (*ISR_4 ()* y *ISR_5 ()* (Anexo 10.2), ya que están conectadas a un caudalímetro de efecto Hall, es decir, cuando la solución pasé por alguno de los sensores se generará una interrupción. Dentro de cada una de las interrupciones se contabilizarán los saltos y se utilizarán para los cálculos de la función *control_caudal ()* (Anexo 10.3) cuando se tenga que ejecutar.

Para finalizar, cuando se han realizado todos los riegos, se restablecen todas las variables empleadas para permitir un próximo riego cuando el usuario desee. Cabe destacar que durante el proceso de selección de los parámetros del riego no se mostrará por pantalla el estado del invernado, ya que no es relevante en ese momento y puede llevar al usuario a la confusión. El resto del tiempo se mostrará periódicamente.

4 Memoria de cálculo

4.1 Instrumentación de la Pt100

Para realizar la medición de la temperatura del fluido con la Pt100, se utilizará un puente de Wheatstone (Figura 89). Los pasos a seguir para instrumentar el sensor, que trabajará con temperaturas entre 0-30°C, son los siguientes:

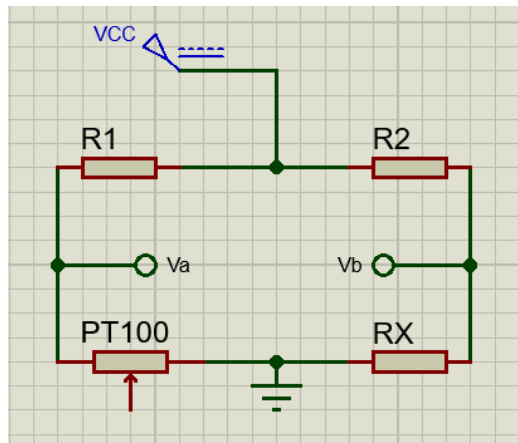


Figura 89. Circuito eléctrico con la Pt100 y un puente de Wheatstone.

Antes de realizar cualquier cálculo, es necesario establecer unas condiciones de funcionamiento. Esto se hace para facilitar el cálculo de los elementos del circuito y asegurar que el sensor va a trabajar a las condiciones deseadas. En este caso, se ha decidido que el sensor proporcione una tensión de salida nula cuando la Pt100 trabaje en un entorno de 0°C. Teniendo esto en cuenta, los valores resistivos serán los siguientes:

$$V_{out} = V_a - V_b \quad ; \quad V_a = V_{cc} \cdot \frac{Pt100(0^\circ C)}{Pt100(0^\circ C) + R1} \quad ; \quad V_b = V_{cc} \cdot \frac{R_x}{R_x + R2} \quad (3)$$

Caso 1: T = 0°C

$$V_{out} = V_a - V_b = V_{cc} \cdot \frac{Pt100(0^\circ C)}{Pt100(0^\circ C) + R1} - V_{cc} \cdot \frac{R_x}{R_x + R1} = 0$$
$$V_{cc} \cdot \frac{Pt100(0^\circ C)}{Pt100(0^\circ C) + R1} = V_{cc} \cdot \frac{R_x}{R_x + R2}$$

$$\frac{Pt100 (0^{\circ}C)}{Pt100 (0^{\circ}C) + R1} = \frac{Rx}{Rx + R2}$$

$$Pt100 (0^{\circ}C)Rx + Pt100 (0^{\circ}C)R2 = Pt100 (0^{\circ}C)Rx + RxR1$$

$$Rx = \frac{Pt100 (0^{\circ}C)R2}{R1} \quad (4)$$

- Si Pt100 (0°C) es igual a 100Ω y suponemos que R2 = R1 se obtiene que:

$$Pt100 (0^{\circ}C) = 100 \Omega$$

$$Rx = Pt100 (0^{\circ}C) = 100 \Omega$$

Caso 2: T = 22°C

Para que la salida del puente de Wheatstone se pueda conectar al microcontrolador, debo asegurar de que la tensión de salida sea de 0,05 V cuando la temperatura sea igual a 30°C. Aunque la temperatura límite del proyecto sea de 25°C, se ha decidido utilizar 30°C como límite para dejar un margen en caso de que ocurra alguna complicación. Los valores de R1 y R2 se calculan de la siguiente forma:

$$Pt100 (T) = 100 \cdot (1 + 0,0036 \cdot T) \quad (5)$$

$$Pt100 (30^{\circ}C) = 100 \cdot (1 + 0,0036 \cdot 30) = 110,8 \Omega$$

$$5 \cdot \frac{110,8}{110,8 + R1} - 5 \cdot \frac{100}{100 + R1} = 0,05$$

$$\frac{554}{110,8 + R1} - \frac{500}{100 + R1} = 0,05$$

$$\frac{554}{110,8 + R1} = \frac{505 + 0,05R1}{100 + R1}$$

$$0,05R1^2 - 43,46R1 + 554 = 0 \rightarrow R1_1 = 857\Omega \text{ y } R1_2 = 13\Omega$$

Tras analizar los resultados obtenidos, se ha llegado a la conclusión de que la resistencia de 860 Ω (serie E24) es más adecuada. Para lograr los 13 Ω requeridos, se

necesitaría colocar dos resistencias en serie, lo cual plantea dificultades prácticas debido a la imprecisión al emparejar valores exactos de resistencias en R1 y R2. Por este motivo, es preferible utilizar una resistencia de 820Ω , si bien no coincide con el valor deseado, pero se acerca suficiente, otorgando un margen de tolerancia ante posibles desviaciones.

Amplificación del resultado

Ahora que los valores de las resistencias están establecidos se procede a calcular los valores reales del circuito:

$$V_{out_{mínima}} = V_a - V_b = 5 \cdot \frac{100}{100 + 820} - 5 \cdot \frac{100}{100 + 820} = 0 V$$

$$V_{out_{máxima}} = V_a - V_b = 5 \cdot \frac{110,8}{110,8 + 820} - 5 \cdot \frac{100}{100 + 820} = 0,049 V$$

Como los valores intermedios van a ser muy pequeños, se ha optado por utilizar un INA131 (Figura 90), que es un amplificador de instrumentación con ganancia 100. Esto quiere decir que las tensiones obtenidas por el puente de Wheatstone se incrementarán 100 veces, permitiendo la lectura de los valores en un pin ADC del microcontrolador. Las tensiones de salida del amplificador de instrumentación son las siguientes:

$$V_{OAI-mínima} = 0 V$$

$$V_{OAI-máxima} = 4,98 V$$

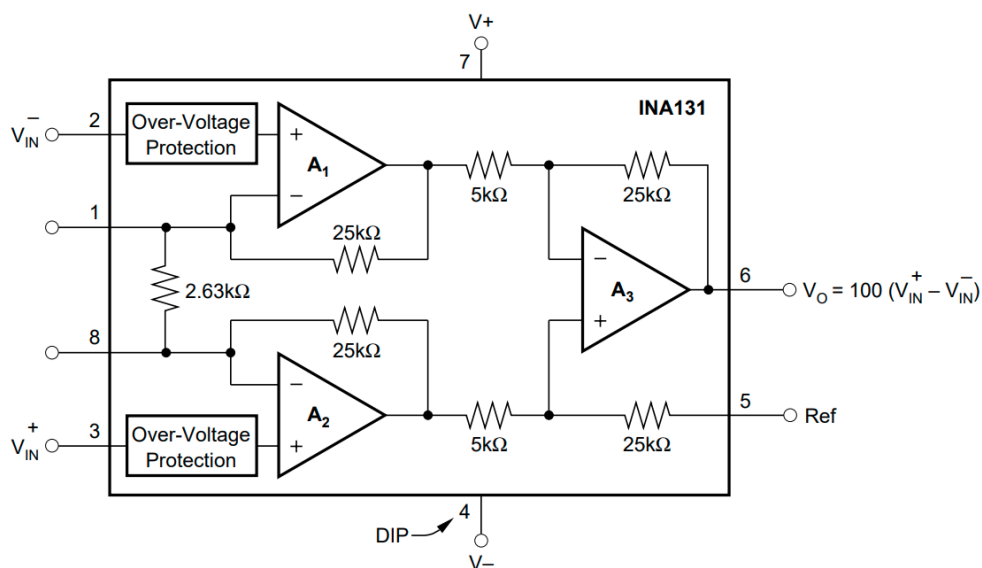


Figura 90. Esquema eléctrico del INA151.[88]

4.2 Selección del motor de trifásica

El motor de trifásica será necesario para mover las multibandas a diferentes alturas. Para elegir el motor más adecuado se debería empezar por calcular la cantidad de peso que debe de levantar:

$$Masa_{H14\ 666} = \text{densidad lineal} \cdot \text{longitud} \quad (6)$$

$$Masa_{H14\ 666} = 1,018 \frac{Kg}{m} \cdot 45,5 \text{ m} = 46,319 \text{ kg}$$

$$Masa_{plantas} = \text{Masa de una planta} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ de plantas}}{n^{\circ} \text{ de multibandas}} \quad (7)$$

$$Masa_{plantas} = 500 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3640}{32} = 56,875 \text{ kg}$$

$$Masa_{total} = Masa_{H14\ 666} \cdot Masa_{plantas} \cdot n^{\circ} \text{ de multibandas} \quad (8)$$

$$Masa_{total} = 46,319 \cdot 56,875 \cdot 32 = 3302,208 \text{ kg}$$

$$Peso_{total} = Masa_{total} \cdot G \quad (9)$$

$$Peso_{total} = 3302,208 \cdot 9,81 = 32,36 \text{ kN}$$

Con este valor de peso necesitamos calcular la potencia que va a consumir el motor. Para ello, se necesita calcular previamente el torque del motor y la velocidad angular.

$$Torque_{motor} = Peso_{total} \cdot \text{radio polea} \quad (10)$$

$$Torque_{motor} = 32,36 \cdot \left(\frac{31,75 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 514 \text{ Nm}$$

$$w_{motor} = \frac{\text{distancia que recorre} \cdot \text{tiempo}}{r} \quad (11)$$

$$w_{motor} = \frac{0,45 \text{ m}/60\text{s}}{\frac{31,75 \cdot 10^{-3}}{2}} = 0,47 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ o } 4,5 \text{ rpm}$$

$$P_{motor} = Torque_{motor} \cdot w_{motor}$$

$$P_{motor} = 514 \cdot 0,47 = 241,58 \text{ W}$$

T [Nm] η [rpm]

P.GW30.2.230.13. *1	300	1,3	0,12	230 (1~)	1,3
P.GW30.2.230.26. *1	300	2,6	0,12	230 (1~)	1,3
P.GW30.2.230.52. *1	300	5,2	0,55	230 (1~)	4,5
P.GW30.400.13. *1	300	1,3	0,18	230 / 400 (3~)	1,2/0,7
P.GW30.400.26. *1	300	2,6	0,25	230 / 400 (3~)	1,4/0,8
P.GW30.400.52. *1	300	5,2	0,37	230 / 400 (3~)	2,1/1,2
P.GW30.400.150. *1	300	15	1,10	230 / 400 (3~)	4,7/2,7
P.GW40.2.230.13. *1	400	1,3	0,25	230 (1~)	3,1
P.GW40.2.230.26. *1	400	2,6	0,55	230 (1~)	4,8
P.GW40.3.230.52. *1	400	5,2	0,75	230 (1~)	6,0
P.GW40.400.13. *1	400	1,3	0,25	230 / 400 (3~)	1,4/0,8
P.GW40.400.26. *1	400	2,6	0,37	230 / 400 (3~)	1,7/1,0
P.GW40.3.400.52. *1	400	5,2	0,55	230 / 400 (3~)	2,6/1,5
P.GW40.400.80. *1	400	8,0	0,75	230 / 400 (3~)	3,5/2,0
P.GW60.2.230.52. *1	600	5,2	1,1	230 (1~)	9,5
P.GW60.400.52. *1	600	5,2	0,75	230 / 400 (3~)	3,5/2,0
P.GW80.400.13. *1	800	1,3	0,37	230 / 400 (3~)	1,7/1,0
P.GW80.400.26. *1	800	2,6	0,55	230 / 400 (3~)	2,6/1,5
P.GW80.2.400.40. *1	800	4,0	0,75	230 / 400 (3~)	3,5/2,0
P.GW100.400.26. *1	1000	2,6	0,75	230 / 400 (3~)	3,8/2,2
P.GW110S.400.40. *1	1100	4,0	1,10	230 / 400 (3~)	4,7/2,7
P.GW150S.400.40. *1	1500	4,0	1,50	230 / 400 (3~)	6,4/3,7

Figura 91. Tabla que contiene las especificaciones eléctricas de los posibles motores.

De una lista de motores (*Figura 91*) especializados en esta función, se ha desestimado todos aquellos motores que no llegaran a cumplir con los valores calculados. Tanto el valor que no llegue al mínimo, como el que se sobrepasa por mucho es desechado. De los tres motores restantes, se escogió el último.

4.3 Potencia máxima total del sistema

Para el cálculo de la potencia (12) máxima del circuito se utilizarán los valores más limitantes, en caso de que haya algún problema, el sistema sea capaz de aguantarlo. Cabe destacar que todas las potencias se han calculado teniendo en cuenta que el factor de potencia es unitario, ya que esta suposición facilita los cálculos.

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (12)$$

- Pmax del ATMEGA2560 [87]

$$P_{max_µc} = V_{max} \cdot I_{max} = 5 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ W}$$

- Pmax de los sensores HC-SR04 [64][65]

$$P_{max_HC-SR04} = 7 \cdot V_{max} \cdot I_{max} = 7 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,7 \text{ W}$$

- Pmax del puente de Wheatstone [66]

$$R_{TOTAL} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

$$R_{TOTAL} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(820 + 100) \cdot (820 + 100)}{(820 + 100) + (820 + 100)} = 460 \Omega$$

$$P_{max_PW} = \frac{V^2}{R} = \frac{5^2}{460} = 0,054 \text{ W}$$

- Pmax INA131 [referencia] [88]

$$P_{max_INA131} = V_{max} \cdot I_{max} = 18 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,054 \text{ W}$$

- Pmax Sensor de pH [67]

$$P_{max_pH} = V_{max} \cdot I_{max} = 5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,05 W$$

- Pmax Sensor de conductividad [68]

$$P_{max_CE} = 2 \cdot V_{max} \cdot I_{max} = 2 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,060 W$$

- Pmax Bomba hidráulica [69]

$$P_{max_pH} = V_{max} \cdot I_{max} = 12 \cdot 17 = 204 W$$

- Pmax Electroválvulas [72][73][74]

$$P_{max_Electrovalvulas_TOTAL} = 10 \cdot P_{Electrovalvulas_} = 10 \cdot 6 = 60 W$$

- Pmax Relé 8 canales [75]

$$P_{max_rele8_TOTAL} = 2 \cdot P_{rele8} = 2 \cdot 5 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 0,7 W$$

- Pmax Relé 4canales [76]

$$P_{max_rele8_TOTAL} = 5 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,25 W$$

- Pmax YF-s201 [77]

$$P_{max_YF-s201_TOTAL} = 2 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,15 W$$

- Pmax LM044L [90]

$$P_{max_LM044L} = 5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} = 0,0175 W$$

- Pmax Luces Led [111]

$$P_{max_LucesLed} = 4 \cdot (4,8 \cdot 50) = 960 W$$

- Pmax LDR [112]

$$P_{max_LDR} = \frac{5^2}{1000} = 0,025 W$$

- Pmax DHT11 [112]

$$P_{max_DHT11} = 5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,0025 W$$

- Potencia total componentes DC

$$P_{total_DC} \approx 1227 W$$

- Pmax inversor [99] y Pmax variador [102] (Figura 112)

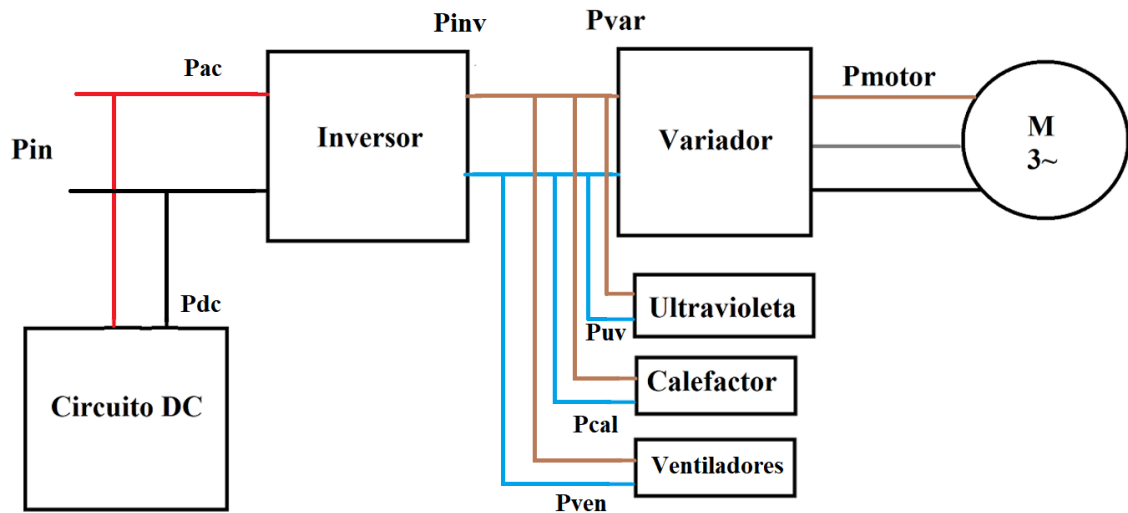


Figura 92. Conexión de los elementos y potencias.

$$P_{entrada} = \frac{P_{salida}}{\eta} \quad (14)$$

Caso 1: Cuando la potencia del motor es nominal (14)

$$P_{var} = \frac{P_{motor-nominal}}{\eta} = \frac{750 W}{0,98} \approx 766 W$$

$$P_{inv} = P_{var} + P_{max_Calefactor} + P_{max_UV} + P_{max_vent} = 766 + 2000 + 32 + (5 \cdot 230) = 3948 W$$

$$P_{ac} = \frac{P_{inv}}{\eta} = \frac{3948 W}{0,90} \approx 4387 W$$

Caso 2: Cuando el motor se arranca (14)

$$P_{motor_arranque} = P_{motor_nominal} \cdot 6 = 750 \cdot 6 = 4500 W$$

$$P_{var} = \frac{P_{motor_arranque}}{\eta} = \frac{4500 \text{ W}}{0,98} \simeq 4592 \text{ W}$$

$$P_{inv} = P_{var} + P_{max_Calentador} + P_{max_UV} + P_{max_vent} = 4592 + 2000 + 32 + (5 \cdot 230) = 6859 \text{ W}$$

$$P_{ac} = \frac{P_{inv}}{\eta} = \frac{6859 \text{ W}}{0,90} \simeq 7622 \text{ W}$$

Para verificar que las potencias calculadas son adecuadas para el circuito, se debe comprobar que no supere la potencia nominal y la potencia de pico admisible del inversor. En el caso del inversor seleccionado, las potencias calculadas son válidas, ya que la potencia nominal admisible es de 5000 W y la potencia de pico es de 10000 W.

4.4 Dimensionamiento de las placas solares

Lo primero que se tiene que hacer para dimensionar las placas es calcular la energía máxima. Para ello, se cogerán las potencias calculadas en el apartado anterior y se les multiplicarán las horas de funcionamiento que tendrán en un día (15). Como cada componente tiene un tiempo de funcionamiento diferente, hay que realizar una aproximación de uso.

$$Energia = Potencia \cdot horas \text{ (15)}$$

- La energía $E_{componentes_DC}$ recoge la energía de todos los componentes electrónicos que se alimentan en continua durante todo el día.

$$E_{componentes_DC} = 63 \text{ W} \cdot 24 \text{ h} = 1512 \text{ Wh/dia}$$

- La energía consumida por la bomba será la que ésta consuma durante los procesos de riego y de preparación de la mezcla. Dichos procesos se consideran que ocupan un lapso de dos horas y media en total al día.

$$E_{bomba_DC} = 204 \text{ W} \cdot 3,5 \text{ h} = 714 \text{ Wh/dia}$$

- Para calcular la energía consumida por la iluminación de los Leds, se ha decidido utilizar un promedio de horas de uso, dado que durante el invierno se necesitará más iluminación que durante el verano. Por este motivo, se ha estimado que las luces estarán encendidas un promedio de 12 horas al día.

$$E_{iluminacion_DC} = 960 \text{ W} \cdot 12 \text{ h} = 11520 \text{ Wh/dia}$$

- Los cinco ventiladores se encontrarán encendidos durante las horas más cálidas del día, estimándose un tiempo de operación de aproximadamente 4 horas.

$$E_{ventiladores_AC} = (5 \cdot 230) W \cdot 4 h = 1600 Wh/dia$$

- La energía requerida por el calefactor en un día de trabajo será la que consuma durante el proceso de creación de la mezcla. Dicho proceso se ha definido como un proceso de una hora.

$$E_{calefactor_AC} = 2000 W \cdot 1h = 2000 Wh/dia$$

- La energía consumida por el tratamiento UV será la que requiera durante el proceso de riego, siendo éste de dos horas y media.

$$E_{UV_AC} = 32 W \cdot 2,5h = 80 Wh/dia$$

- La energía consumida por el variador será igual al producto de la potencia calculada en el apartado anterior por el tiempo estimado que el motor esté encendido. En este caso, se ha estimado un tiempo de una hora, dado que el movimiento de las multibandas no será necesario hasta que se deba realizar una inspección manual del cultivo o proceder con la cosecha.

$$E_{variador_AC} = 766 W \cdot 1h = 766 Wh/dia$$

- La energía del calefactor, la ventilación, el tratamiento ultravioleta y el motor trifásico suman, en conjunto, la potencia requerida por la sección de corriente alterna de la instalación. Por lo tanto, la energía total consumida por todos los aparatos de la instalación en corriente alterna será:

$$E_{ac} = \frac{E_{ventiladores_AC} + E_{variador_AC} + E_{UV_AC} + E_{calefactor_AC}}{\eta} = \frac{766 + 2000 + 80 + 1600}{0,90} \approx 4940 Wh/dia$$

$$E_{total/diaria} = E_{ac} + E_{iluminacion_DC} + E_{bomba_DC} + E_{componentes_DC} = 4940 + 1512 + 714 + 11520 = 18686 Wh/dia$$

Tras obtener la energía diaria total, se selecciona el tipo de placa solar que se va a usar. A continuación, se debe realizar el cálculo de la energía total consumida real, por medio del rendimiento global de la instalación (16).

$$Rendimiento\ global\ de\ la\ instalación = (1 - Kb - Kc - Kr - Kv) \cdot (1 - Ka \frac{N}{Pd}) \quad (16)$$

Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador

Ka: Fracción de energía que se pierde por autodescarga.

Kc: Pérdidas por el rendimiento del inversor.

Kr: Pérdidas en el controlador de carga.

Kv: Otras pérdidas no consideradas anteriormente.

N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga.

Pd: Profundidad máxima de descarga admisible

Para elegir los valores de los parámetros anteriores se debe consultar con la tabla del Anexo 9.26 de este proyecto. En esta tabla se especifica el valor a escoger dependiendo de los componentes del circuito o las elecciones que se hayan hecho sobre este. Los resultados se pueden observar en la Tabla 28.

Parámetro	Valor	Motivo del valor escogido
Kb	0,1	Acumulados viejos, descargas intensas, temperaturas bajas.
Ka	0,005	Baterías estacionarias de energía solar.
Kc	0,100	Rendimiento del inversor del 90%.
Kr	0,100	Controlador de carga eficiente.
Kv	0,150	Si no se tienen en cuenta las pérdidas en cableado y equipos.
Pd	0,300	Batería descargada hasta el 30%.
N	3	Número de días de autonomía.

Tabla 28. Parámetros seleccionados para el cálculo del rendimiento global del sistema.

$$\text{Rendimiento global de la instalación} = (1 - 0,1 - 0,100 - 0,100 - 0,150) \cdot \left(1 - 0,005 \frac{3}{0,300}\right) = 0,5225$$

$$E_{total_consumida_real} = \frac{E_{total/diaria}}{\text{Rendimiento global de la instalación}} \quad (17)$$

$$E_{total_consumida_real} = \frac{18686}{0,5225} \approx 35763 \text{ Wh/dia}$$

$$\text{Carga eléctrica consumida por el sistema} = \frac{E_{total_consumida_real}}{\text{Tensión de la placa}} \quad (18)$$

$$\text{Carga eléctrica consumida} = \frac{35763}{24} \approx 1491 \text{ Ah/dia}$$

Carga eléctrica producida por un panel fotovoltaico = Corriente de pico de la placa · HSP²¹ (19)

Carga eléctrica producida por un panel fotovoltaico = 17,37 · 2,20 = 38,14 Ah/día

$$N^{\circ} \text{ de placas} = \frac{\text{Carga eléctrica consumida por el sistema}}{\text{Carga eléctrica producida por un panel fotovoltaico}} \quad (20)$$

$$N^{\circ} \text{ de placas} = \frac{1491}{38,14} \approx 40 \text{ placas}$$

¿Hay espacio suficiente para colocar 162 placas?

$$A_{\text{placas}} = 2,384 \text{ m} \cdot 1,303 \text{ m} \approx 3,11 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{placas posibles}} = \frac{\text{superficie total tejado}}{A_{\text{placas}}} = \frac{(600 + 60)}{3,11} \approx 212 \text{ placas}$$

Sí, hay espacio suficiente.

4.5 Dimensionamiento de los controladores de las placas solares

Para dimensionar los controladores necesarios para las placas solares, se necesita conocer la potencia total del sistema, la potencia que proporciona cada placa y la tensión y corriente que ésta genera. En este caso, se cuenta con un controlador que, para una tensión de 24 V de salida, tiene como máximo una tensión de entrada de 250 V, una corriente de 100 A y una potencia de 2900 W.

$$N^{\circ} \text{ placas/controlador} = \frac{P_{\text{max controlador}}}{P_{\text{placa}}} = \frac{2900}{670} \approx 4 \text{ placas/controlador}$$

$$N^{\circ} \text{ controladores} = \frac{N^{\circ} \text{ placas}_{\text{totales}}}{N^{\circ} \text{ placas/controlador}} = \frac{40}{4} \approx 10 \text{ controladores}$$

Para no sobrecargar ninguno de los controladores, no se puede superar ninguna de las tres características de control que poseen (potencia, corriente y tensión). Por tanto, para poder soportar toda la potencia generada por la totalidad de las placas solares es necesario utilizar varios controladores y dividir la instalación por grupos de placas. Ocupándose cada controlador de manejar un conjunto del total.

²¹ HSP: Las Horas de Sol Pico representan la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra durante una hora en condiciones ideales. Una Hora de Sol Pico es la cantidad de radiación solar equivalente a la que recibirías en una hora si el sol estuviera en su punto máximo (perpendicular a la superficie) durante una hora.

4.6 Dimensionamiento de las baterías de la instalación solar

Para conocer la cantidad de baterías necesarias y cómo han de conectarse a los controladores, se han de tener en cuenta varios parámetros: la potencia total del sistema a satisfacer, la cantidad de días de autonomía que se desean, la profundidad de descarga de las baterías la tensión a la que va a trabajar el sistema y la capacidad de cada batería.

En este caso, las baterías trabajan a 24V con 4420 Ah de capacidad. Por tanto, como la tensión del sistema coincide con la de las baterías, se colocarán en un grupo de una batería en serie y x en paralelo. Para calcular el número de baterías en paralelo y, por ende, la cantidad total de las baterías necesarias, queda la siguiente fórmula:

$$N^{\circ}baterías = \frac{E_{total_consumida_real} \cdot Días\ autonomía}{Profundidad\ de\ descarga \cdot V_{Sistema} \cdot Capacidad\ Batería} \quad (21)$$

$$N^{\circ}baterías = \frac{35763 \cdot 3}{0.3 \cdot 24 \cdot 4420} \simeq 4$$

Por tanto, serían necesarios siete módulos de baterías para satisfacer las demandas de la instalación con los parámetros seleccionados.

4.7 Secciones de los cables del sistema

Para garantizar el cumplimiento de las normativas de seguridad en las instalaciones eléctricas, es fundamental adherirse al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado por el Real Decreto 842/2002. Entre los aspectos detallados en el reglamento, se encuentra el procedimiento para el cálculo de las secciones de los cables. Para realizar el cálculo se deben seguir los siguientes pasos:

- Identificar el tipo de línea.
- Seleccionar el método de instalación del cable y el tipo y aplicar la fórmula. (22)
- Buscar, modificar o seleccionar la sección correspondiente al cálculo.

Líneas Monofásicas

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\circ C} \cdot U}$$

Líneas Trifásicas

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\circ C} \cdot U} \quad (22)$$

S: Sección del conductor en mm².

L: Longitud de la línea en m.

$\gamma_{\circ C}$: Conductividad del conductor en S/m.

I: Intensidad eficaz por la línea en A.

$\cos\varphi$: FP de la carga. A efectos prácticos se seguirá usando un FP = 1.

U: Caída de la tensión de la línea (V).

- Sección del cable del motor trifásico

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 3PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{\text{nominal}} = 3,5 \text{ A}$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\circ C} \cdot U} = \frac{\sqrt{3} \cdot 50 \cdot 3,5 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 0,55 \text{ mm}^2$$

Independientemente del valor, la sección mínima del cable de un motor trifásico es de 4 mm² a 27 A.

- Sección del cable del tratamiento ultravioleta

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 3%	$I_{\text{nominal}} = 0,44 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\circ C} \cdot U} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 0,44 \cdot 1}{48 \cdot (3\% \cdot 230)} = 0,053 \text{ mm}^2$$

La sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 1,5 mm² a 16 A.

- Sección del cable del calentador por inmersión

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{\text{nominal}} = 10,9 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\circ C} \cdot U} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10,9 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 0,079 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 10,9 A, la sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 2,5 mm² a 23 A.

- Sección del cable de uno de los ventiladores industriales

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{nominal} = 0,90 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{eC} \cdot U} = \frac{2 \cdot 75 \cdot 0,90 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 0,245 \text{ mm}^2$$

La sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 1,5 mm² a 16 A.

- Sección del cable para el conjunto de los ventiladores industriales

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{nominal} = 6 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{eC} \cdot U} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 6 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 1,08 \text{ mm}^2$$

La sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 1,5 mm² a 16 A.

- Sección del cable del variador

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{nominal} = 3,5 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{eC} \cdot U} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 3,5 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 0,12 \text{ mm}^2$$

Independientemente del valor, la sección mínima del cable de un motor trifásico es de 4 mm² a 27 A. Como el variador está conectado al motor se ha decidido usar la misma sección.

- Sección del cable después del inversor

$$I_{max} = I_{ventilador_max} + I_{UV_max} + I_{cale_max} + I_{var_max}$$

$$I_{max} = (1,20 \cdot 5) + 0,44 + \frac{2000}{230} + \frac{4500}{230\sqrt{3}} = 26,44 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 5%	$I_{\text{máxima}} = 26,44 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\text{c}} \cdot U} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 26,44 \cdot 1}{48 \cdot (5\% \cdot 230)} = 1,91 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 26,44 A, la sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 4 mm² a 31 A.

- Sección del cable antes del inversor

$$I_{\text{nom}} = \frac{4387 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 183 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2XLPE de cobre (56 S/m)
Tensión máxima permitida = 1%	$I_{\text{nominal}} = 183 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\text{c}} \cdot U} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 183 \cdot 1}{56 \cdot (1\% \cdot 24)} = 54,47 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 183 A, la sección mínima normalizada para un cable de 2XLPE de cobre es de 70 mm² a 224 A. Para la conexión entre este cable y el inversor se deben utilizar unos bornes especiales incluidos en el inversor.

- Sección del cable de la iluminación por las luces Led

$$I_{\text{nom}} = \frac{960 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 40 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2PVC de cobre (48 S/m)
Tensión máxima permitida = 3%	$I_{\text{nominal}} = 40 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\text{c}} \cdot U} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 1}{48 \cdot (3\% \cdot 24)} = 4,7 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 40 A, la sección mínima normalizada para un cable de 2PVC de cobre es de 10 mm² a 54 A.

- Sección del cable de los componentes en continua
 - Todos los componentes que tengan una corriente inferior a 1 A, deberán utilizar un cable de sección mínima normalizada de 1,5 mm² a 16 A de 2PVC de cobre.

- En el caso de la bomba hidráulica que consume 17 A se utilizará un cable con sección mínima normalizada de 2,5 mm² a 23 A de 2PVC de cobre.
- Sección del cable para las placas fotovoltaicas

$$I_{nom} = n^{\circ} \text{ de placas conectadas en paralelo} \cdot I_{pico} = 4 \cdot 17,37 = 69,48 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2XLPE de cobre (56 S/m)
Tensión máxima permitida = 3%	I _{nominal} = 69,48 A

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\%C} \cdot U} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 69,48 \cdot 1}{56 \cdot (3\% \cdot 24)} = 34,46 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 69,48 A y una sección de 34,46 mm², se ha decidido usar un cable de 2XLPE de cobre con la sección mínima normalizada de 35 mm² a 144 A. En este caso, el regulador de carga admite la sección del cable seleccionada.

- Sección del cable desde el regulador de carga hasta una de las barras de distribución de las baterías

$$I_{nom} = 69,48 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2XLPE de cobre (56 S/m)
Tensión máxima permitida = 1%	I _{nominal} = 69,48 A

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\%C} \cdot U} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 69,48 \cdot 1}{56 \cdot (1\% \cdot 24)} = 10,34 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 69,48 A y una sección de 10,34 mm², se ha decidido usar un cable de 2XLPE de cobre con la sección mínima normalizada de 35 mm² a 144 A, ya que es la sección máxima que aguanta el regulador de carga.

$$I_{nom} = 69,48 \cdot 5 = 347,4 \text{ A}$$

Se ha seleccionado una barra de cobre desnuda de dimensiones de 20 mm ancho, por 10 mm de espesor y una longitud de 50 cm. Esta barra soporta una corriente máxima de 438 A, que es mayor que la corriente procedente de los cinco reguladores.

- Sección del cable desde la barra de distribución de las baterías hasta las baterías

$$I_{nom} = \frac{I_{barra_distribución}}{2} = \frac{347,4}{2} = 173,7 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2XLPE de cobre (56 S/m)
Tensión máxima permitida = 1%	$I_{nominal} = 173,7 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\text{c}} \cdot U} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 173,7 \cdot 1}{56 \cdot (1\% \cdot 24)} = 51,7 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 173,7 A y una sección de 51,7 mm², se ha decidido usar un cable de 2XLPE de cobre con la sección mínima normalizada de 70 mm² a 224 A.

Como las dimensiones son iguales que en el punto anterior, se puede asegurar que son correctas y válidas.

- Sección del cable desde las baterías a la barra de distribución de las cargas

$$I_{nom} = \frac{I_{total \text{ del sistema}}}{N^{\circ} \text{ de baterías}} = \frac{\left(\frac{4387}{24}\right) + \left(\frac{1227}{24}\right)}{4} = 58,48 \text{ A}$$

Tipo de instalación: Tipo C	Conductor: 2XLPE de cobre (56 S/m)
Tensión máxima permitida = 1%	$I_{nominal} = 58,48 \text{ A}$

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\gamma_{\text{c}} \cdot U} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 58,48 \cdot 1}{56 \cdot (1\% \cdot 24)} = 17,41 \text{ mm}^2$$

Para una corriente nominal de 58,48 A y una sección de 17,41 mm², se ha decidido usar un cable de 2XLPE de cobre con la sección mínima normalizada de 25 mm² a 116 A.

Se ha seleccionado una barra de cobre desnuda de dimensiones de 20 mm ancho, por 5 mm de espesor y una longitud de 50 cm. Esta barra soporta una corriente máxima de 274 A, que es mayor que la corriente procedente de las cuatro baterías.

4.8 Protecciones del sistema eléctrico

$$I_{sc} \cdot 1,25 \leq I_{fusible} \leq I_{max_cable}$$

$$V_{oc} \cdot 1,20 \quad (23)$$

- Fusible para las placas fotovoltaicas:

Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$4 \cdot 18,38 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 144 A$	$46,29 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = 100A$
$91,9 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 144 A$	$= 55,54 V$	$V_{\text{fusible}} = 500 V$

- Fusibles para antes de las baterías:

Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$173,7 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 224 A$	$24 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = x A$
$217,13 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 224 A$	$= 28,8 V$	$V_{\text{fusible}} = x V$

Aunque no haya problemas a la hora de calcular la intensidad del fusible, no se comercializan fusibles de intensidades comprendidas entre las intensidades calculadas. Por este motivo se ha aumentado la sección del conductor a 95 mm^2 que aguantaría 271 A. El fusible escogido será de 250 A.

Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$173,7 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 271 A$	$24 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = 250$
$217,13 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 271 A$	$= 28,8 V$	$V_{\text{fusible}} = 750 V$

- Fusibles para después de las baterías:

Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$58,48 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 116 A$	$24 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = 80 A$
$73,1 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 116 A$	$= 28,8 V$	$V_{\text{fusible}} = 500 V$

- Fusibles para después de las barras de distribución de cargas (Inversor):

• Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$183 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 224 A$	$24 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = x A$
$228,75 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 224 A$	$= 28,8 V$	$V_{\text{fusible}} = x V$

La intensidad calculada es mayor que la corriente que aguanta el cable escogido. Por este motivo se ha aumentado la sección del conductor a 95 mm^2 que aguantaría 271 A. El fusible escogido será de 250 A.

Condición Amperios	Condición Tensión	Fusible
$183 \cdot 1,25 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 271 A$	$24 \cdot 1,20 =$	$I_{\text{fusible}} = 250$
$228,75 A \leq I_{\text{fusible}} \leq 271 A$	$= 28,8 V$	$V_{\text{fusible}} = 750 V$

- Protecciones para después del inversor:

Se ha decidido colocar un diferencial de 40 A, con el fin de proteger a las personas contra descargas eléctricas al detectar fugas de corriente. Desconectando el circuito cuando hay una diferencia entre la corriente que entra y la que sale del sistema. Además, se colocarán fusibles o magnetotérmico en cada subrama del circuito, para proteger el circuito eléctrico contra sobrecargas y cortocircuitos, interrumpiendo el flujo de corriente cuando detecta condiciones anormales. Los fusibles y magnetotérmicos seleccionados son los siguientes:

- Pares de fusibles de 2 A para todos los componentes o grupos de componentes en continua que no superen 1 A de corriente.
- 1 par de fusibles de 25 A para la bomba hidráulica.
- 1 par fusibles de 40 A para la iluminación.
- 1 par de magnetotérmicos de 1 A para la sección de 0,44 A.
- 1 Par de magnetotérmicos de 8 A para la instalación de la ventilación.
- 1 Par de magnetotérmicos de 16 A para la instalación del calefactor por inmersión.
- 2 Par de magnetotérmicos de 10 A para la instalación del motor con el variador.

4.9 Número de multibandas

$$\text{Espacio disponible (m)} = \text{Ancho (m)} - 2 * \text{Separación lateral (m)} \quad (16)$$

$$\text{Espacio disponible} = 9 \text{ m} - 2 * 0,5 \text{ m} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Número de multibandas} = \left(\frac{\text{Espacio disponible (m)}}{\text{Distancia entre celosías (m)}} \right) \quad (17)$$

$$\text{Número de multibandas} = \left(\frac{8 \text{ m}}{0,50 \text{ m}} \right) = 16 \text{ multibandas}$$

Para un espacio de 8 m se podrán colocar 16 multibandas de 45,5 m de largo y 0,10 m de ancho. Al estar el invernadero dividido entre dos se podrán colocar el doble de multibandas, obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Número de multibandas totales} = 2 * \text{Número de multibandas} \quad (18)$$

$$\text{Número de multibandas totales} = 2 * 16 = 32 \text{ multibandas}$$

4.10 Aproximación del volumen de cultivo

Sabiendo que las dimensiones de la multibandas son 45,5 m de largo y 0,10 m de ancho, y que cada 0,40 m se cultiva una planta, se puede obtener el área total y de un cultivo:

$$\begin{aligned} \text{Área de un cultivo (m}^2\text{)} \\ = \text{Ancho multibanda (m)} * \text{Distancia entre cultivos (m)} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{Área de un cultivo} = 0,10 \text{ m} * 0,40 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Área total de cultivo (m}^2\text{)} \\ = \text{Número de multibandas} * \text{Largo multibanda (m)} * \text{Ancho multibanda (m)} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{Área total de cultivo} = 32 * 0,10 \text{ m} * 45,5 \text{ m} = 145,6 \text{ m}^2$$

Gracias a los calculos se sabe que cada 0,04 m² habrá un cultivo plantado. Para saber cuántos cultivos habrá en total habrá que calcular cuantos cultivos habrá en un conjunto de multibanda de 145,6 m²:

$$\text{Número de plantas} = \left(\frac{\text{Área total de cultivo (m}^2\text{)}}{\text{Área de un cultivo (m}^2\text{)}} \right) \quad (21)$$

$$\text{Número de plantas} = \left(\frac{145,6 \text{ m}^2}{0,04 \text{ m}^2} \right) = 3640 \text{ plantas}$$

4.11 Abastecimiento hídrico (L)

1. Aplicación de fórmula directa

$$\text{Volumen de agua (L)} = \text{Tasa de flujo (L * m)} * \text{Frecuencia de riego (min)} \quad (22)$$

La tasa de flujo se refiere a la cantidad de solución nutritiva que circula a través del sistema durante un período de tiempo específico. Este parámetro es variable e impreciso, ya que está influenciado por la geolocalización de la planta (clima, época del año, etc.) y requiere una observación constante de las condiciones que presenten los cultivos (etapa de crecimiento, suelo, sistema de control, etc.). Si se optara por emplear este método, sería necesario obtener datos de otros invernaderos similares y extrapolarlos a este proyecto. Sin embargo, debido a la falta de precisión que presenta, se ha decidido desestimar este método.

2. Basándose en las necesidades hídricas del cultivo

Para este método es crucial conocer las necesidades hídricas de las fresas y fresones, para poder cuantificar la cantidad de litros que necesita aportar el sistema al conjunto de plantas. Según la guía para el cultivo de fresas de *Hydro Environment*, empresa mejicana especializada en comercializar productos hidropónicos para invernaderos, se conoce que una planta de fresa requiere entre 450 y 600 ml de solución diaria para llevar a cabo sus funciones principales. Sabiendo esta información, podemos obtener el siguiente margen:

$$\text{Abastecimiento hídrico (ml)} = \text{Número de plantas} * \frac{\text{ml diarios}}{\text{planta}} \quad (23)$$

$$\text{Abastecimiento hídrico}_{\text{mínimo}} (L) = 3640 \text{ plantas} * \frac{450 \text{ ml}}{\text{planta}} * \frac{1 L}{1000 \text{ ml}} = 1638 L$$

$$\text{Abastecimiento hídrico}_{\text{máximo}} (L) = 3640 \text{ plantas} * \frac{600 \text{ ml}}{\text{planta}} * \frac{1 L}{1000 \text{ ml}} = 2184 L$$

$$1638 (L) \leq \text{Abastecimiento hídrico (L)} \leq 2184 (L)$$

4.12 Transformación de mEq/L a mmol/L de las condiciones hídricas de la fresa

- Cuando la combinación química o elemento tiene un ion monovalente la conversión es la siguiente:

$$\text{milimol} = \frac{\text{mEq}}{\text{valencia}}; (24)$$

$$1 \text{ mEq} = 1 \text{ mmol} (\text{Monovalente} = 1 \text{ valencia})$$

$$4,3 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{NO}_3 * \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ mEq}} = 4,3 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{NO}_3$$

$$0,7 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{NH}_4 * \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ mEq}} = 0,7 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{NH}_4$$

$$2 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{H}_2\text{PO}_4 * \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ mEq}} = 2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{H}_2\text{PO}_4$$

$$2,2 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{K} * \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ mEq}} = 2,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{K}$$

- Cuando la combinación química o el elemento tiene un ion divalente la conversión es la siguiente:

$$\text{milimol} = \frac{\text{mEq}}{\text{valencia}}; (25)$$

$$2 \text{ mEq} = 1 \text{ mmol} (\text{Divalente} = 2 \text{ valencias})$$

$$4,8 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{Ca} * \frac{1 \text{ mmol}}{2 \text{ mEq}} = 2,4 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{Ca}$$

$$2 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{Mg} * \frac{1 \text{ mmol}}{2 \text{ mEq}} = 1 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{Mg}$$

$$3,4 \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \text{ de } \text{SO}_4 * \frac{1 \text{ mmol}}{2 \text{ mEq}} = 1,7 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{SO}_4$$

4.13 Transformación de mg/L a mmol/L de las condiciones hídricas del agua de riego

$$\text{milimol} = \frac{\text{miligramos}}{\text{peso de la fórmula (masa molar)}} \quad (26)$$

$$12,40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } NO_3 * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{62,0049 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 0,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } NO_3$$

$$11,73 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } K * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{39,0983 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 0,3 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } K$$

$$32,06 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } Ca * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{40,078 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 0,8 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } Ca$$

$$4,86 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } Mg * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{24,305 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 0,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } Mg$$

$$48,03 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } SO_4 * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{96,06 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 0,5 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } SO_4$$

$$134,41 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } HCO_3 * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ mol}}{84,007 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \approx 1,6 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } HCO_3$$

4.14 Cálculo de la composición de la solución nutritiva

Para realizar el ajuste nutricional de la composición se utiliza una tabla estandarizada donde se encuentran los fertilizantes que se van a usar y las composiciones que se desean ajustar. En la tabla se sitúan y ordenan los cationes y los aniones de los distintos químicos por su importancia nutricional. Acto seguido se calcula la diferencia de las sustancias a estudiar: el agua de riego y la solución nutritiva ideal, extraída a partir de las condiciones hídricas del cultivo:

$$\text{Aporte faltante} \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) = \text{Solución ideal} \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) - \text{Aporte riego} \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \quad (27)$$

$$4,3 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 4,1 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } NO_3 ; 0,7 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 0,7 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } NH_4$$

$$2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } H_2PO_4 ; 2,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0,3 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 1,9 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } K$$

$$1,7 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0,5 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 1,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } SO_4 ; 2,4 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0,8 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 1,6 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } Ca$$

$$0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 1,6 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = -1,6 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } HCO_3 ; 1 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} - 0,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 0,8 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } Mg$$

Una vez obtenidos los aportes faltantes de la solución nutritiva se deberán realizar los siguientes pasos:

1. Ajustar el calcio

Una solución con niveles elevados de calcio provocaría daños graves e irreversibles en un cultivo, por este motivo el ajuste del calcio es lo primero que se debe realizar. Para satisfacer la necesidad de calcio se utilizará un fertilizante formado por nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), añadiendo la cantidad necesaria para suplirla:

$$\text{Aporte del } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = \text{Aporte faltante de Ca} = 1,6 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$$

El nitrato de calcio no solamente está compuesto por calcio, por esta razón el compuesto reaccionará con todas aquellas sustancias que compartan formulación. En este caso, el nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) provocará un cambio en la solución de las cantidades del nitrato (NO_3) y del amoníaco (NH_4), obteniendo las siguientes variaciones:

Cada mmol añadido de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aporta 2 mmoles de NO_3 (28)

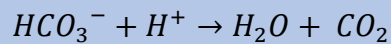
$$\text{Variación de } \text{NO}_3 = 2 * \text{aporte de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 2 * 1,6 = 3,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{NO}_3$$

Cada mmol añadido de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aporta 0,168 mmoles de NH_4 (29)

$$\begin{aligned} \text{Variación de } \text{NH}_4 &= 0,168 * \text{aporte de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 0,168 * 1,6 \\ &= 0,269 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \text{ de } \text{NH}_4 \end{aligned}$$

2. Destruir bicarbonatos

Una alta concentración de bicarbonato de sodio implicaría un exceso de pH en la solución al ser una sustancia alcalina. Para eliminarlo se ha optado por utilizar ácido fosfórico (H_3PO_4), ya que proporciona la posibilidad de neutralizar el bicarbonato (HCO_3) y ayuda a ajustar el fosfato dihidrico (H_2PO_4) de la solución nutritiva final al reaccionar entre ellos, obteniendo los siguientes resultados:



$$\text{Aporte del } H_3PO_4 = \text{Aporte faltante de } HCO_3 = 1,6 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } H_3PO_4$$

$$\text{Variación de } H_2PO_4 = \text{Aporte del } H_3PO_4 = 1,6 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } H_2PO_4$$

3. Completar los macronutrientes empezando por el Nitrógeno – Fósforo - Potasio

Acto seguido se calibra el nitrógeno, el fósforo y el potasio siguiendo el mismo procedimiento de forma ordenada. Los fertilizantes escogidos para suplir las necesidades son los siguientes: para el nitrato (NO_3), se utilizará nitrato de magnesio ($Mg(NO_3)_2$); para el fosfato dihidrico (H_2PO_4), se optará por usar fosfato monopotásico (KH_2PO_4); y en el caso del potasio (K), se empleará el sulfato de potasio (K_2SO_4). Al igual que en los casos anteriores, los fertilizantes pueden colisionar con otras sustancias, obteniendo las siguientes proporciones:

Nitrógeno

$$\text{Actualmente la Variación de } NO_3 = 3,2 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } NO_3$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de } Mg(NO_3)_2 &= \text{Aporte faltante de } NO_3 - \text{Variación de } NO_3 = 4,1 - 3,2 \\ &= 0,9 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } Mg(NO_3)_2 \end{aligned}$$

Cada mmol añadido de $Mg(NO_3)_2$ aporta 0,5 mmoles de Mg (31)

$$\text{Variación de Mg} = 0,5 * \text{aporte de } Mg(NO_3)_2 = 0,5 * 0,9 = 0,45 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de Mg}$$

Fósforo

$$\text{Actualmente la Variación de } H_2PO_4 = 1,6 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } H_2PO_4$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de } KH_2PO_4 &= \text{Aporte faltante de } H_2PO_4 - \text{Variación de } H_2PO_4 = 2 - 1,6 \\ &= 0,4 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } KH_2PO_4 \end{aligned}$$

Cada mmol añadido de KH_2PO_4 aporta 1 mmoles de K (32)

$$\text{Variación de K} = \text{Aporte del Aporte del } KH_2PO_4 = 0,4 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de K}$$

Potasio

$$\text{Actualmente la Variación de K} = 0,4 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de K}$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de } K_2SO_4 &= \text{Aporte faltante de K} - \text{Variación de K} = 1,9 - 0,4 \\ &= 1,5 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } K_2SO_4 \end{aligned}$$

Cada mmol añadido de K_2SO_4 aporta 0,5 mmoles de SO_4 (33)

$$\text{Variación de } SO_4 = 0,5 * \text{aporte de } K_2SO_4 = 0,5 * 1,5 = 0,75 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } SO_4$$

4. Dejar los ajustes de sulfatos para el final

Si se utiliza sulfato de magnesio ($MgSO_4$) en la solución nutritiva se podrá ajustar las dos últimas sustancias que quedan: el sulfato (SO_4) y el magnesio (Mg). Las proporciones finales serían las siguientes:

$$\text{Actualmente la Variación de Mg} = 0,45 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de Mg}$$

$$\begin{aligned} \text{Aporte de } MgSO_4 &= \text{Aporte faltante de Mg} - \text{Variación de Mg} = 0,8 - 0,45 \\ &= 0,35 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } MgSO_4 \end{aligned}$$

Cada mmol añadido de $MgSO_4$ aporta 1 mmoles de SO_4 (34)

$$\begin{aligned} \text{Variación de } SO_4 \text{ final} &= \text{Aporte de } MgSO_4 + \text{Variación de } SO_4 = 0,35 + 0,75 \\ &= 1,1 \frac{\text{mmol}}{L} \text{ de } SO_4 \end{aligned}$$

5. Ajustar los micronutrientes

En los micronutrientes se pueden encontrar elementos como: hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo). Al ser elementos metálicos se necesitan niveles muy bajos, pero a su vez son completamente necesarios para que un ser vivo realice sus funciones vitales. Por ejemplo, una planta necesita hierro para generar clorofila o el zinc para activar las enzimas responsables en la síntesis de algunas proteínas.

El ajuste de los micronutrientes consiste en utilizar un fertilizante que contenga una mezcla de estos elementos (mix) con un porcentaje de hierro (Fe) de 7,5%. Si se fijara la cantidad necesaria en 5 p.p.m se obtiene el siguiente ajuste:

$$\frac{\text{Cantidad de Hierro } \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{Riqueza en tanto por uno}} \text{ y } 1 \text{ p.p.m} = 1 \frac{mg}{L} \quad (35)$$

$$\text{Cantidad de Mix} = \frac{5}{\left(\frac{7,5}{100}\right)} = 66,6 \text{ mg} \left(\frac{\text{Mix}}{L}\right) = 66,6 \text{ g} \left(\frac{\text{Mix}}{m^3}\right)$$

4.15 Resultados del ajuste de la solución nutritiva

Una vez terminado el ajuste de la solución nutritiva se pasará a estudiar los resultados obtenidos de ella. Por lo que se comenzará calculando el error relativo de éstas con la finalidad de comprobar cuán exacto ha sido el ajuste en comparación a los resultados que se deberían obtener.

Error absoluto (Ea) = |Valor de la medida – Valor tomado como exacto|

$$\text{Error relativo (Er)} = \frac{\text{Error absoluto (Ea)}}{\text{Valor tomado como exacto}} * 100 \quad (36)$$

$$Ea \text{ del } NO_3 = |4,1 - 4,1| = 0 \frac{mmol}{L} \quad ; \quad Er \text{ del } NO_3 = \frac{0}{4,1} * 100 = 0\%$$

$$Ea \text{ del } H_2PO_4 = |2 - 2| = 0 \frac{mmol}{L} \quad ; \quad Er \text{ del } H_2PO_4 = \frac{0}{2} * 100 = 0\%$$

$$Ea \text{ del } SO_4 = |1,1 - 1,2| = 0,1 \frac{mmol}{L} \quad ; \quad Er \text{ del } SO_4 = \frac{0,1}{1,2} * 100 = 8,3\%$$

$$Ea \text{ del } HCO_3 = |-1,6 + 1,6| = 0 \frac{mmol}{L} \quad ; \quad Er \text{ del } HCO_3 = \frac{0}{-1,6} * 100 = 0\%$$

$$Ea \text{ del } NH_4 = |0,269 - 0,7| = 0,431 \frac{\text{mmol}}{L} ; Er \text{ del } NH_4 = \frac{0,431}{0,7} * 100 = 61,57\%$$

$$Ea \text{ del } K = |1,9 - 1,9| = 0 \frac{\text{mmol}}{L} ; Er \text{ del } SO_4 = \frac{0}{1,9} * 100 = 0\%$$

$$Ea \text{ del } Ca = |1,6 - 1,6| = 0 \frac{\text{mmol}}{L} ; Er \text{ del } SO_4 = \frac{0}{1,6} * 100 = 0\%$$

$$Ea \text{ del } Mg = |0,8 - 0,8| = 0 \frac{\text{mmol}}{L} ; Er \text{ del } Mg = \frac{0}{0,8} * 100 = 0\%$$

Químicos	Cantidad ideal (mmol/L)	Cantidades tras el ajuste (mmol/L)	Error relativo (%)
NO ₃	4,1	4,1	0
H ₂ PO ₄	2	2	0
SO ₄	1,2	1,1	8,3
HCO ₃	-1,6	-1,6	0
Cl	0	0	0
NH ₄	0,7	0,269	61,57
K	1,9	1,9	0
Ca	1,6	1,6	0
Mg	0,8	0,8	0
Variables	Cantidades ideales	Cantidades tras el ajuste (mmol/L)	
pH	6 - 7	7,9	
Ce (µS/cm)	1000 - 1800	1386	

Tabla 29. Resultados obtenidos del ajuste de la solución nutritiva realizado.

Como se puede apreciar en la *Tabla 29* anterior, la mayoría de los valores se han conseguido ajustar de forma apropiada. Aunque el sulfato (SO₄) tenga un error del 8,3% sigue siendo un ajuste dentro de los márgenes. Pese a que el amonio (NH₄) presenta un error del 61,57% no se puede considerar un problema, ya que en este caso un margen de error alto implicaría un beneficio, es decir, cuanto más se acerque el valor real al ideal, mayor será el riesgo de afectar negativamente a la planta. El valor del pH también es elevado, pero disminuirá al añadir los ácidos a la solución.

4.16 Mano de obra del proyecto

El costo de la mano de obra puede variar significativamente dependiendo de varios factores, como la complejidad de la instalación, la ubicación geográfica, la experiencia del electricista, y las condiciones específicas del proyecto. Para este proyecto se ha decidido realizar estimaciones de los conceptos y se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$\text{Mano de obra directa} = \text{Tarifa horaria media} \cdot \text{Duración del trabajo} \quad (37)$$

$$\text{Coste total} = \text{Mano de obra directa} + \text{Carga social} + \text{IVA} \quad (38)$$

Instalación del motor trifásico

Duración de la instalación: 8 horas.

Tarifa horaria media: 35 € por hora.

Mano de obra directa: $35 \text{ €} \cdot 8 \text{ horas} = 280 \text{ €}$

Carga social (35%): $280 \text{ €} \times 0,35 = 98 \text{ €}$

Costo total estimado de la mano de obra: $280 \text{ €} + 98 \text{ €} = 378 \text{ €}$

Aplicando el IVA: $378 \text{ €} + 21\% = 457,38 \text{ €}$

Instalación del riego (fontanería y estructural)

Duración de la instalación: 40 horas.

Tarifa horaria media: 30 € por hora.

Mano de obra directa: $30 \text{ €} \cdot 40 \text{ horas} = 1200 \text{ €}$

Carga social (35%): $1200 \text{ €} \times 0,35 = 420 \text{ €}$

Coste aproximado de materiales y adicionales: 1780 € (Alquiler de grúa, Transporte, operador)

Costo total estimado de la mano de obra: $1200 \text{ €} + 420 \text{ €} + 1780 \text{ €} = 3400 \text{ €}$

Aplicando el IVA: $3400 \text{ €} + 21\% = 4114 \text{ €}$

Instalación del riego (Electrónica)

Duración de la instalación: 50 horas.

Tarifa horaria media: 60 € por hora.

Mano de obra directa: $60 \text{ €} \cdot 50 \text{ horas} = 3000 \text{ €}$

Carga social (35%): $3000 \text{ €} \times 0,35 = 1050 \text{ €}$

Coste aproximado de materiales: 700 €

Costo total estimado de la mano de obra: $1050 \text{ €} + 700 \text{ €} + 3000 \text{ €} = 4750 \text{ €}$

Aplicando el IVA: $4750 \text{ €} + 21\% = 5747,5 \text{ €}$

Instalación del invernadero y la ventilación

Duración de la instalación: 80 horas (estructura) + 60 horas (cubierta) + 30 horas (ventilación) = 170 horas.

Tarifa horaria media: 25 € por hora.

Mano de obra directa: $170 \text{ €} \cdot 25 \text{ horas} = 4250 \text{ €}$

Carga social (35%): $4250 \text{ €} \times 0,35 = 1487,5 \text{ €}$

Coste aproximado de materiales y adicionales: 1780 € (Alquiler de grúa, Transporte, operador)

Costo total estimado de la mano de obra: $1780 \text{ €} + 1487,5 \text{ €} + 4250 \text{ €} = 7517,5 \text{ €}$

Aplicando el IVA: $7517,5 \text{ €} + 21\% = 9096,175 \text{ €}$

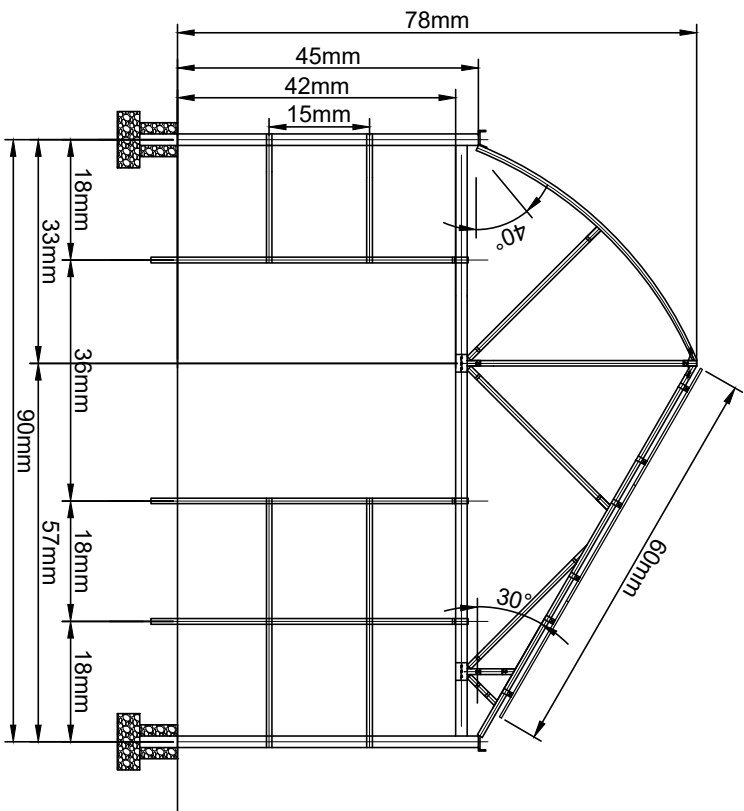
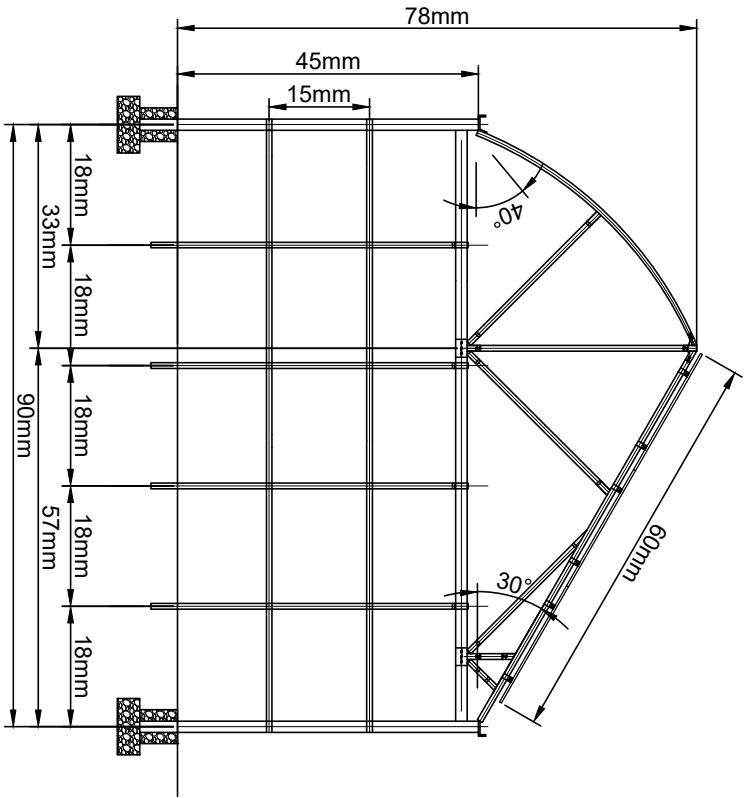
4.17 Beneficio industrial


Consiste en las ganancias que se obtienen en el sector industrial después de considerar los costos y gastos relacionados con la operación y la producción. Según la legislación vigente, el Beneficio industrial es de un 6%. Con este porcentaje se puede calcular el beneficio que se puede sacar del proyecto, mediante la siguiente fórmula:

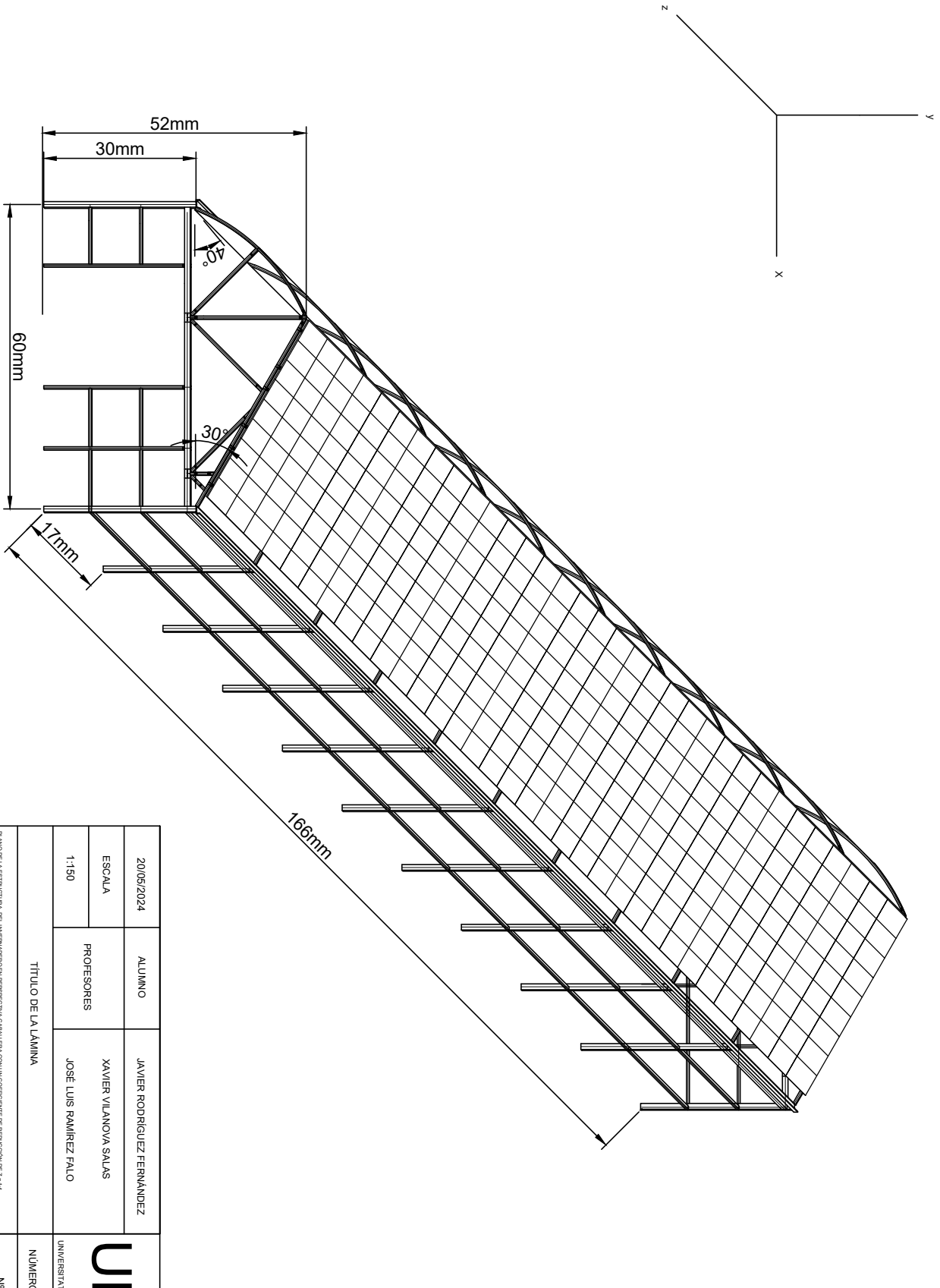
$$\text{Beneficio} = \text{Costo del Proyecto} \cdot \left(\frac{\text{Beneficio Industrial}}{100} \right) \quad (37)$$

$$\text{Beneficio} = 213,666.13 \text{ €} \cdot 0,06 = 12819,97 \text{ €}$$

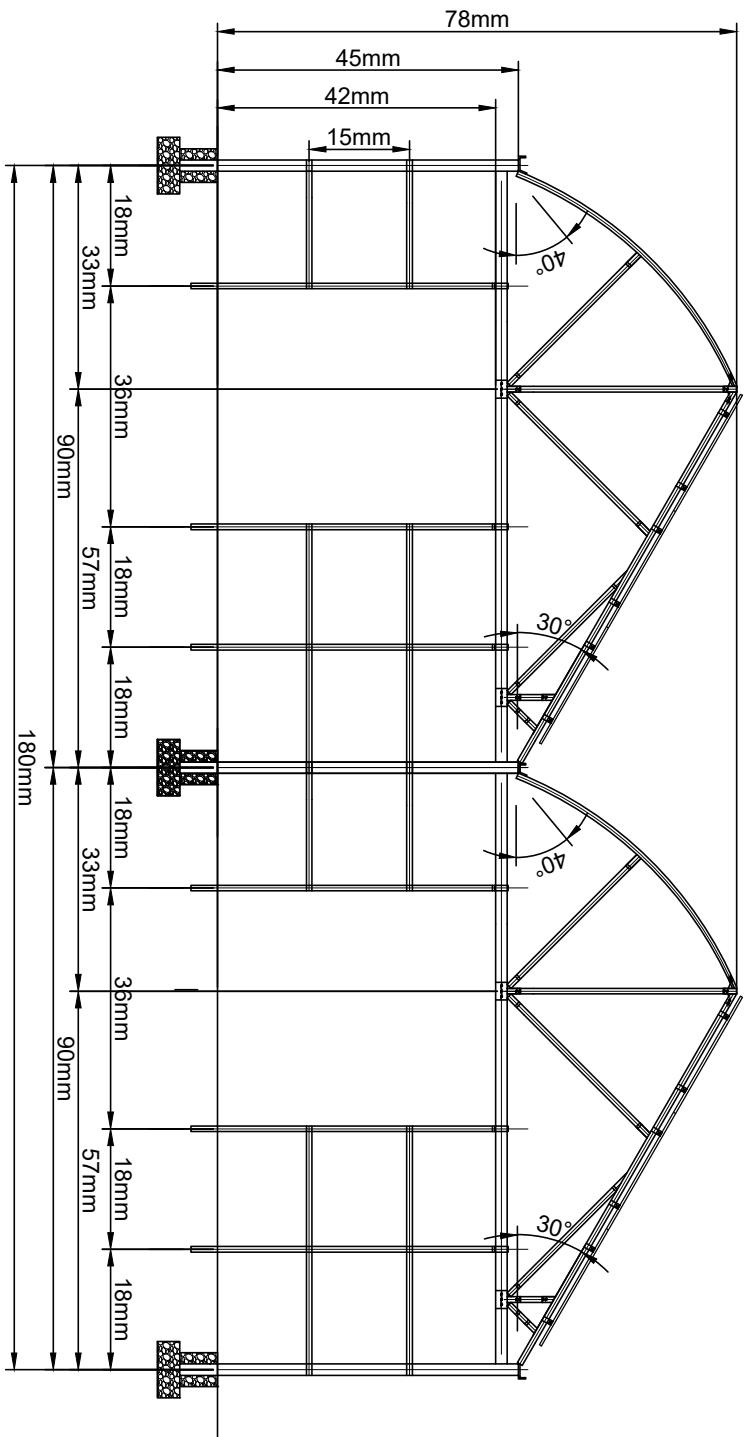
5 Planos



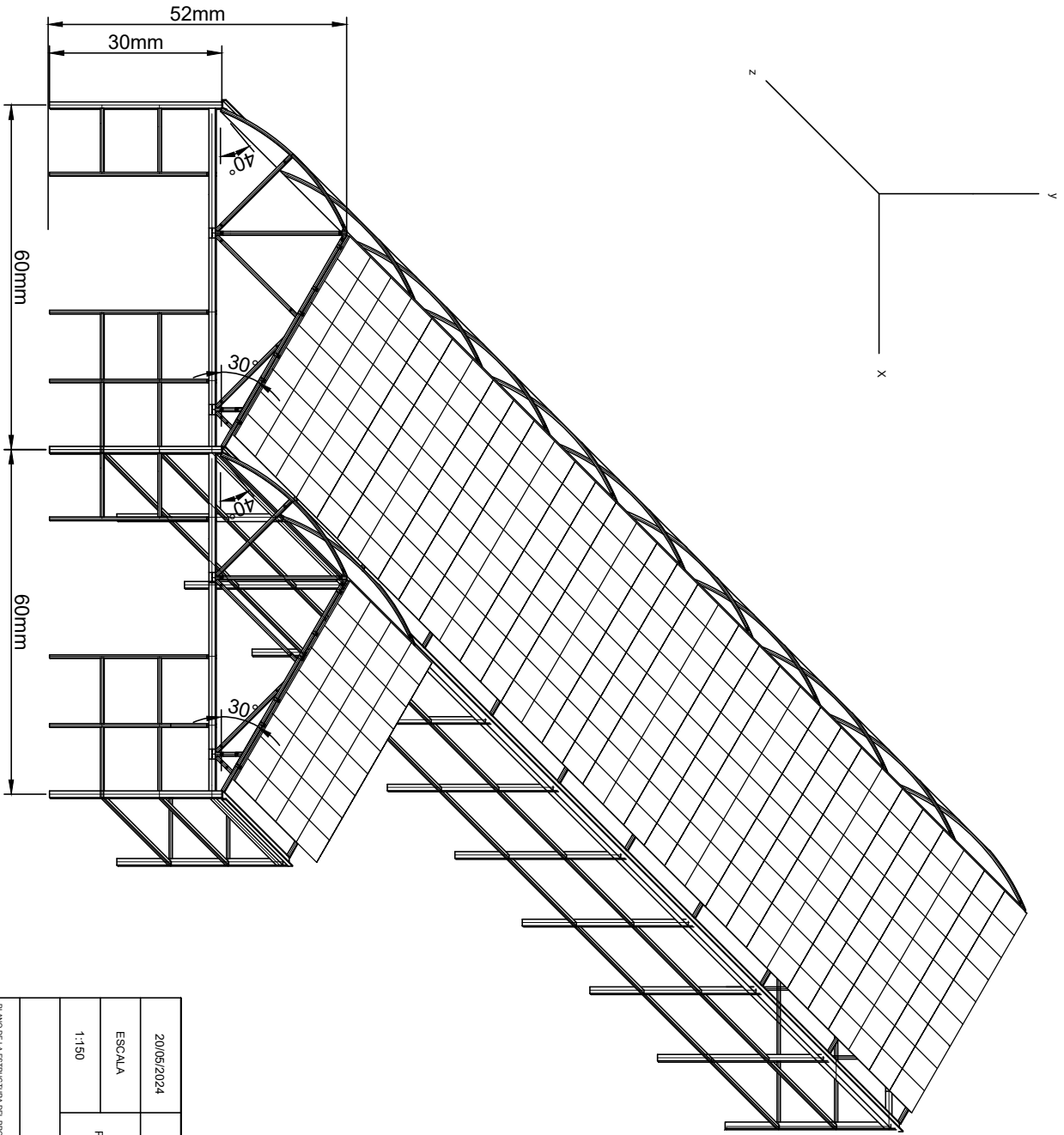
20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSE LUIS RAMIREZ FALO	
1:100	TÍTULO DE LA LÁMINA		NÚMERO DE PLANO
PLANO DE LA ESTRUCTURA TRASERA Y DELANTERA DEL INVERNADERO			Nº 1



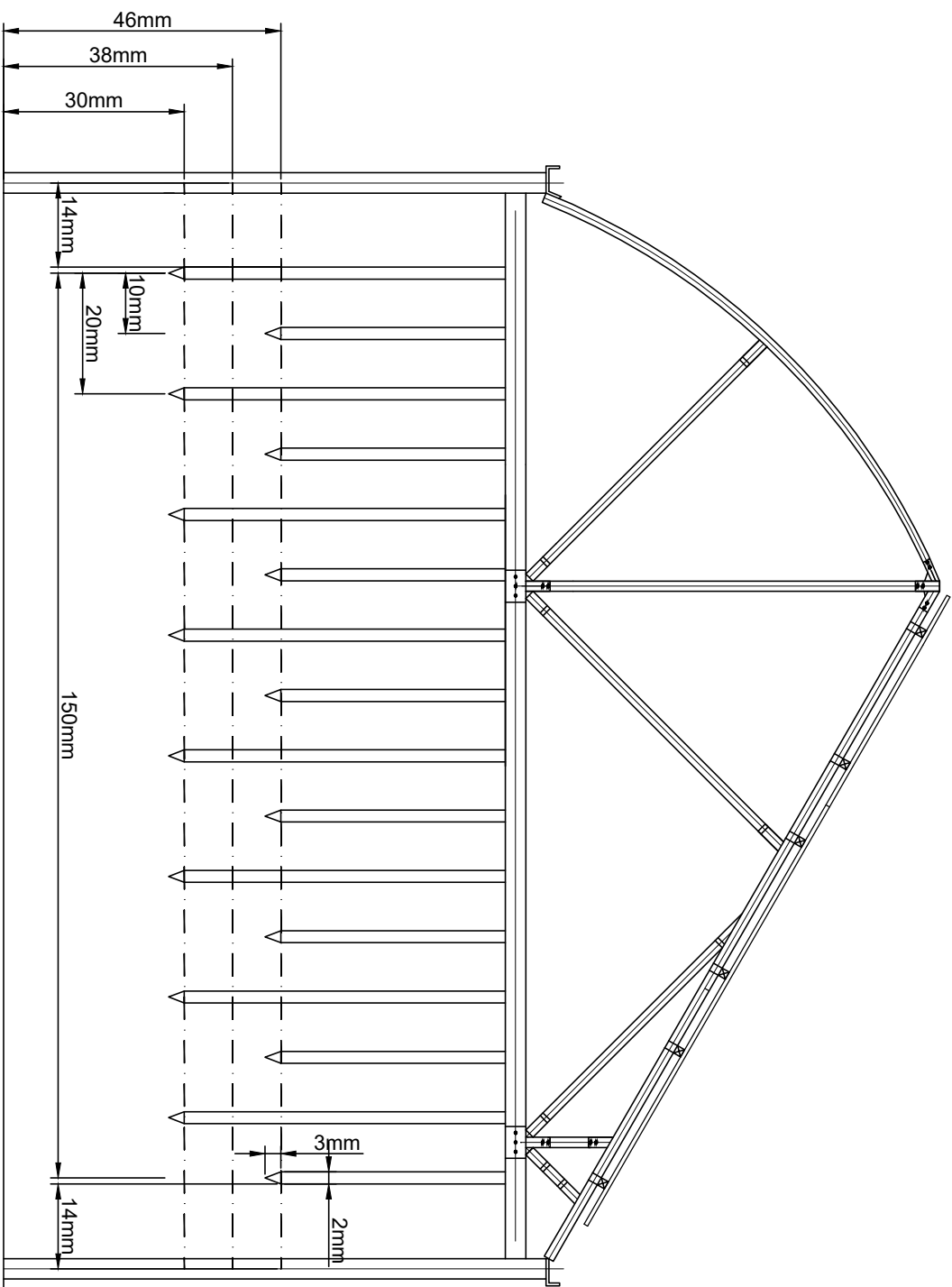
20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	URV UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSE LUIS RAMIREZ FALO	
1:150	TITULO DE LA LAMINA		NÚMERO DE PLANO
<small>PLANO DE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO EN PERSPECTIVA CUALQUIERA CONJUNTO CON SU REDACCION DE Z 1-14</small>			Nº 2



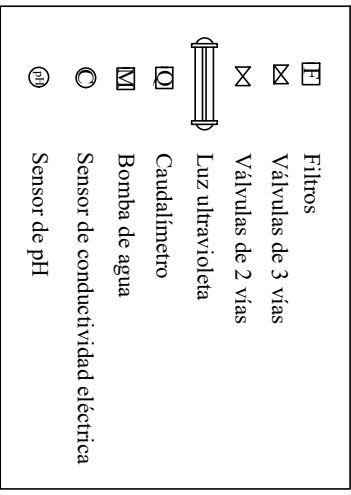
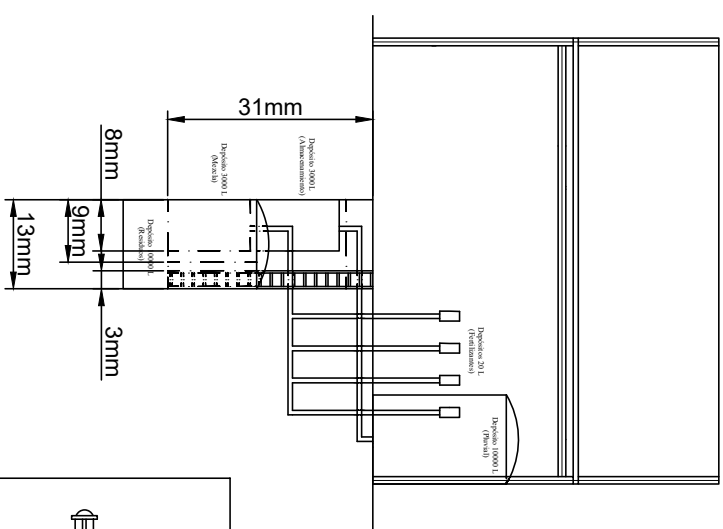
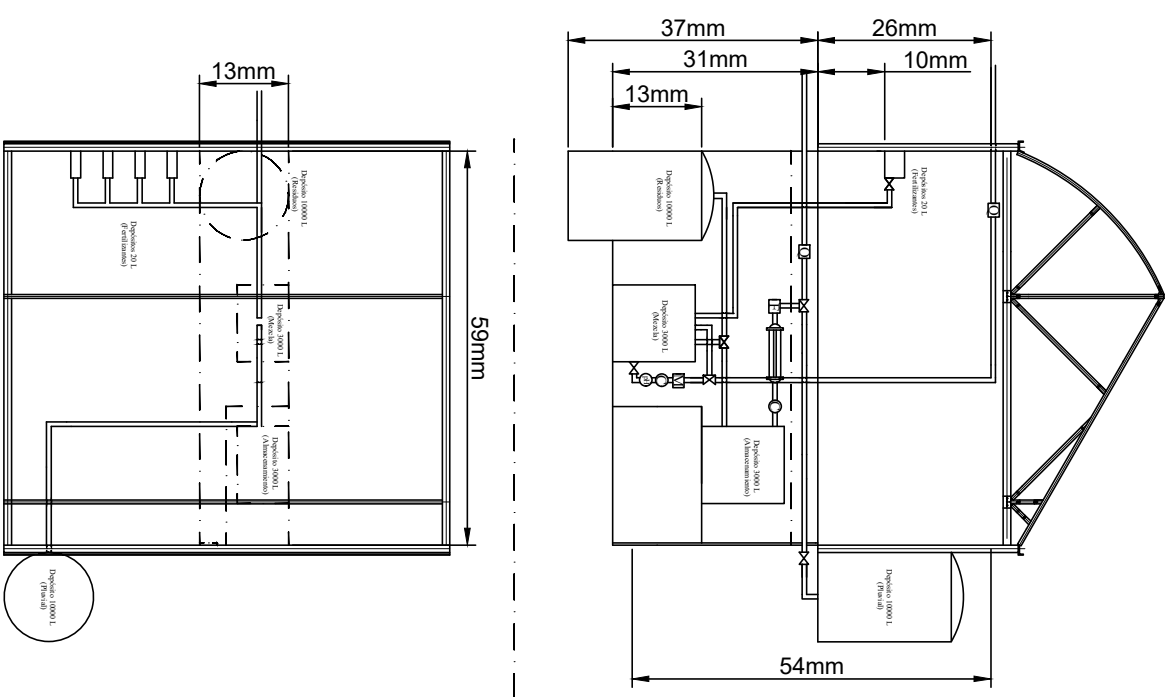
20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	URV UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSE LUIS RAMIREZ FALO	
1:100	TÍTULO DE LA LÁMINA		NÚMERO DE PLANO
PLANO DE LA ESTRUCTURA DELANTERA DEL PROYECTO			Nº 3




20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	URV UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSE LUIS RAMIREZ FALO	
1:150	TÍTULO DE LA LÁMINA		NÚMERO DE PLANO
PLANO DE LA ESTRUCTURA DEL PROYECTO EN PERSPECTIVA CUALQUIERA CON UN COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE 2 = 1/4			Nº 4



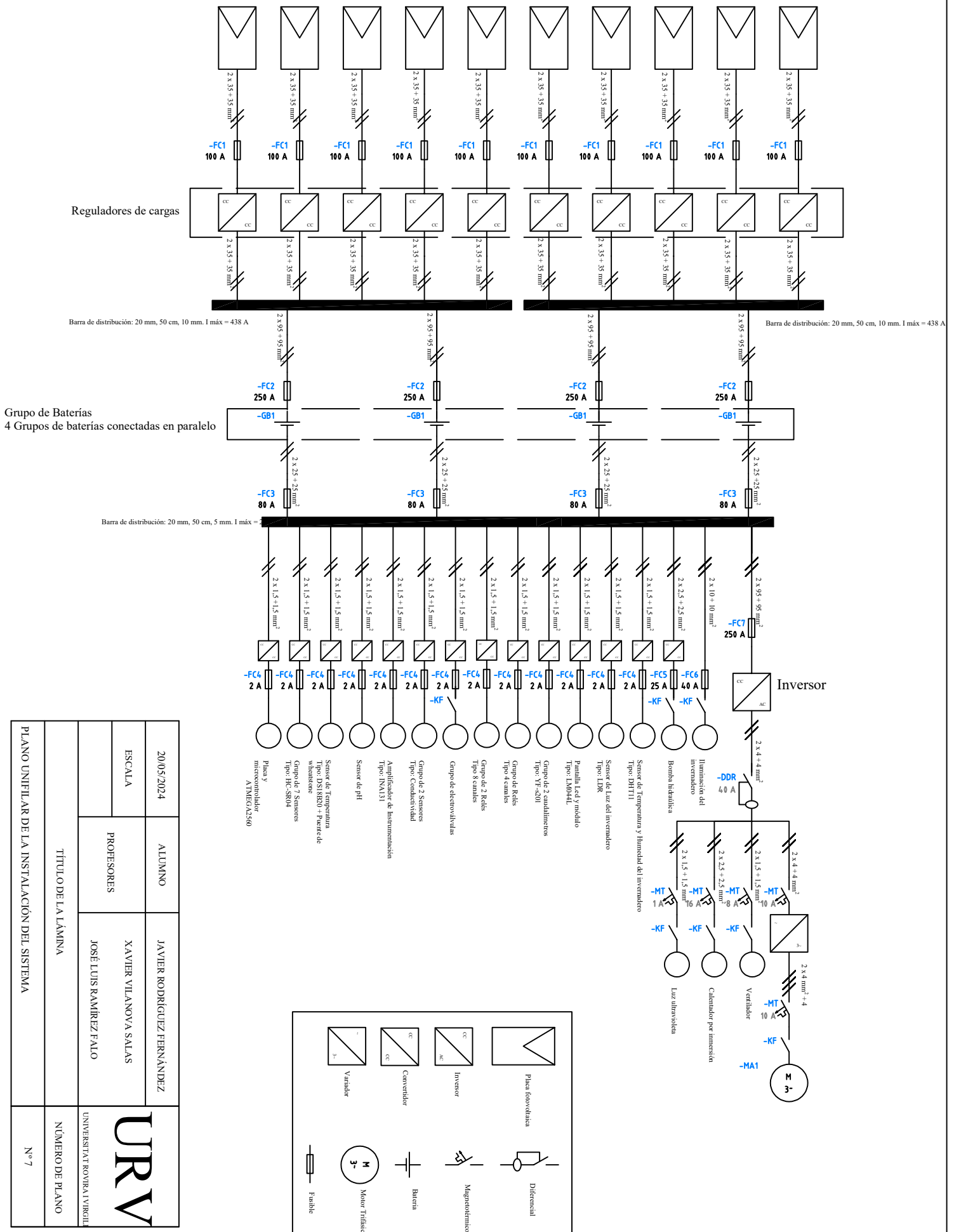
20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	URV UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSE LUIS RAMIREZ FALO	
1:50	TÍTULO DE LA LÁMINA		NÚMERO DE PLANO
PLANO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MULTIBANDAS EN EL INVERNADERO			Nº 5



20/05/2024	ALUMNO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	
ESCALA	PROFESORES	XAVIER VILANOVA SALAS JOSÉ LUIS RAMIREZ FALO	
1:150	TÍTULO DE LA LÁMINA		NÚMERO DE PLANO
PLANO DE VISTA PLANTA AZADO Y PERIL DE LA BOMBÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE REGO			Nº 6

CAMPO FOTOVOLTAICO - 40 placas

10 grupos en paralelo compuestos por 4 módulos en paralelo



Reguladores de cargas

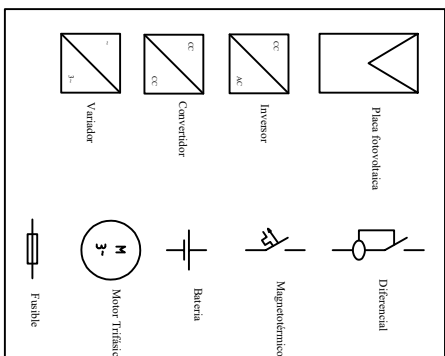
Barra de distribución: 20 mm, 50 cm, 10 mm. 1 máx = 438 A

Grupo de Baterías
4 Grupos de baterías conectadas en paralelo

Barra de distribución: 20 mm, 50 cm, 5 mm. 1 máx = 438 A

Inversor

20/05/2024	ALUMINO	JAVIER RODRIGUEZ FERNANDEZ	URV
	ESCALA	PROFESORES	
TÍTULO DE LA LÁMINA		PLANO UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA	NÚMERO DE PLANO
			Nº 7



6 Listado de Materiales, Componentes y Cantidades

MATERIALES Y COMPONENTES – INSTALACIÓN MOTOR TRIFÁSICO	
Cantidades	Elemento
1	Motor trifásico – Modelo: P.GW80.2.400.40.K125
2	Piñón con tubo para soldar – Modelo: P.BBKWL08B.Z16.D125
150	Placas con cojinetes – Modelo: P.KL100.R.A092
4	Par de engranajes cónicos
16	Anillo de cables – Modelo: P.KABELRING
2	Cadenas – Modelo: P.KTG08B-2.Z16
2	Barras de acero galvanizado de 8 m de largo y grosor de 5/4”
4	Barras de acero galvanizado de 45,5 m de largo y grosor de 5/4”

MATERIALES Y COMPONENTES – INSTALACIÓN DEL RIEGO (FONTANERÍA Y ESTRUCTURAL)	
Cantidades	Elemento
2	Tuberías de PE-100 Alimentario D.25-16 con 100 m
64	Mangueras de D.25-16 10 m
32	Recolector de drenaje de 25 mm de diámetro
32	Multibandas para riego hidropónico
32	Celosías H14 666
1	Cables de Acero galvanizado 7x19 + O de 4 mm 100 m
4	Depósito de 20 L con soporte
2	Depósito de 3000 L
2	Depósito de 10000 L
1	Filtro de malla Ø 1½” y filtrado 35 Mesh
13	Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 1½” y Ø 50 mm
8	Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 2” y Ø 63 mm
4	Fit. Enlace Rosca Macho de Ø ¾” y Ø 25 mm

1	Fit. Enlace Rosca Hembra Ø 2" y Ø 63 mm
2	Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø ½" y Ø 20 mm
2	Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø 1½" y Ø 50 mm
2	Cruz de PVC de 4 Ø 50 mm
6	Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 50 mm
1	Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 32 mm
1	Reducción cónica de Ø 40 mm – 32 x 20 mm
1	Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 20 mm
2	Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 25 mm
1	Sifón de evacuación Ø 110 mm

MATERIALES Y COMPONENTES – INSTALACIÓN DEL RIEGO (ELECTRÓNICA)	
Cantidades	Elemento
7	Sensores HC-SR04
1	Sensor de temperatura Pt100
2	Resistencia de 820 Ω
1	Resistencia de 100 Ω
1	Resistencia de 4,7 kΩ
1	YF-s201
2	Pulsadores TS02-66-60-BK-260-SCR-D
1	LMO44L e interfaz I ² C
4	Tiras Leds de 50 m
1	Sensor de pH y módulo de control
2	Sensor de conductividad eléctrica TDS METER V 1.0
1	Calentador de inmersión RS PRO
1	Tratamiento luz ultravioleta
1	Bomba hidráulica de 12 V – Caudal de 20 L/min
4	Electroválvulas de 2 vías 1½"

3	Electroválvulas de 2 vías 2"
3	Electroválvulas de 3 vías 1½"
2	Módulo Relé de 8 canales DC 5 V
1	Módulo Relé de 4 canales DC 5 V
2	Caudalímetro YFs201 de ¾"
1	LDR de 1000 Ohmios
1	Sensor DHT11

MATERIALES Y COMPONENTES – INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PROTECCIONES	
Cantidades	Elemento
1	Variador – Modelo: NFlixin 960
1	Inversor 5000 W a 24 V (DC)
40	Placas fotovoltaicas – Modelo: RSM132-8-670BMDG
14	Regulador 12-24V a 5V y 5A
1	Regulador 24V a 12V
10	Controlador – Modelo: MPT250/100
4	Módulos de baterías Estacionarias 24V 4420Ah
20	Fusibles de 100 A
10	Fusibles de 250 A
8	Fusibles de 80 A
26	Fusibles de 2 A
2	Fusibles de 25 A
2	Fusibles de 40 A
1	Diferenciales de 40 A
1	Magnetotérmico de 1 A
1	Magnetotérmico de 16 A
1	Magnetotérmico de 8 A
1	Magnetotérmico de 10 A

1	Magnetotérmico de 10 A- Trifásico
2	110 m de cable XLPE de cobre de 35 mm ² de sección
2	10 m de cable XLPE de cobre de 90 mm ² de sección
2	8 m de cable XLPE de cobre de 25 mm ² de sección
4	200 m de cable PVC de cobre de 1,5 mm ² de sección
2	200 m de cable PVC de cobre de 2,5 mm ² de sección
2	100 m de cable PVC de cobre de 10 mm ² de sección
2	100 m de cable PVC de cobre de 4 mm ² de sección

MATERIALES Y COMPONENTES – INSTALACIÓN DEL INVERNADERO Y VENTILACIÓN

Cantidades	Elemento
1	Tuberías de acero galvanizado 900 m
2	Puertas de accesos
3	Ventanas de ventilación
5	Ventiladores
1	Cubierta de cristal 900 m ²
4	Canalones de recogida de agua
1	Tornillos y elementos de fijación

7 Presupuestos

PRESUPUESTOS – INSTALACIÓN DEL MOTOR			
Elemento	Base	Valor (€/base)	Valor (€)
Motor trifásico	Unidad	1.511,05 €	1.511,05 €
Piñón con tubo para soldar	Unidad	22,5 €	45 €
Placas con cojinetes	Unidad	4,585 €	687,75 €
Par de engranajes cónicos	Unidad	22,99 €	22,99 €
Anillo de cables	Unidad	4,55 €	72,8 €
Cadenas	Unidad	13,7 €	27,4 €
Barras de acero galvanizado de 8 m de largo y grosor de 5/4"	Metro	18,40 €	73,6 €
Barras de acero galvanizado de 45,5 m de largo y grosor de 5/4"	Metro	9,40 €	18,8 €
		TOTAL	2.458,9 €

PRESUPUESTOS – INSTALACIÓN DEL RIEGO (FONTANERÍA Y ESTRUCTURAL)			
Elemento	Base	Valor (€/base)	Valor (€)
Tuberías de PE-100	Metro	79,20 €	158,4 €
Mangueras de D.25-16 10 m	Metro	40 €	2560 €
Recolector de drenaje de 25 mm de diámetro	Unidad	15 €	480 €
Multibandas para riego hidropónico	Unidad	695,49 €	22.255,68 €
Celosías H14 666	Unidad	21,9 €	788,4 €
Cables de Acero galvanizado	Unidad	93,99 €	93,99 €
Depósito de 20 L con soporte	Unidad	75,15 €	300,58 €
Depósito de 3000 L	Unidad	244,23 €	1.122,11 €
Depósito de 10000 L	Unidad	1.502,82 €	3.005,65 €
Filtro de malla Ø 1½" y filtrado 35 Mesh	Unidad	15,95 €	15,95 €

Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 1½" y Ø 50 mm	Unidad	8,45 €	109,85 €
Fit. Enlace Rosca Macho de Ø 2" y Ø 63 mm	Unidad	13,21 €	105,68 €
Fit. Enlace Rosca Macho de Ø ¾" y Ø 25 mm	Unidad	2,28 €	9,12 €
Fit. Enlace Rosca Hembra Ø 2" y Ø 63 mm	Unidad	13,84 €	13,84 €
Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø ½" y Ø 20 mm	Unidad	2,41 €	4,82 €
Fit. Enlace Rosca Hembra de Ø 1½" y Ø 50 mm	Unidad	8,94 €	17,88 €
Cruz de PVC de 4 Ø 50 mm	Unidad	3,96 €	7,92 €
Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 50 mm	Unidad	2,59 €	15,54 €
Reducción cónica de Ø 75 mm – 63 x 32 mm	Unidad	2,59 €	2,59 €
Reducción cónica de Ø 40 mm – 32 x 20 mm	Unidad	0,71 €	0,71 €
Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 20 mm	Unidad	1,62 €	1,62 €
Reducción cónica de Ø 63 mm – 50 x 25 mm	Unidad	1,62 €	3,24 €
Sifón de evacuación Ø 110 mm	Unidad	72,20 €	72,20 €
		TOTAL	30.267,89 €

PRESUPUESTOS – INSTALACIÓN DEL RIEGO (ELECTRÓNICA)			
Elemento	Base	Valor (€/base)	Valor (€)
Sensores HC-SR04	Unidad	2,98 €	2,95 €
Sensor de temperatura Pt100	Unidad	75,56 €	87,80 €
Resistencia de 820 Ω	Paquete	1,39 €	1,39 €
Resistencia de 100 Ω	Paquete	1,39 €	1,39 €
Resistencia de 4,7 kΩ	Paquete	1,39 €	1,39 €
YF-s201	Unidad	4,78 €	4,78 €
Pulsadores	Unidad	0,11 €	0,11 €
LMO44L e interfaz I ² C	Unidad	9,62 €	9,62 €
Tiras Leds	Metro	0,48 €	96 €
Sensor de pH y módulo de control	Unidad	11,21 €	11,21 €

Sensor de conductividad eléctrica TDS METER V 1.0	Unidad	19,99 €	39,98 €
Calentador de inmersión RS PRO	Unidad	42,62 €	51,57 €
Tratamiento luz ultravioleta	Unidad	154,85 €	154,85 €
Bomba hidráulica	Unidad	95 €	95 €
Electroválvulas de 2 vías 1½"	Unidad	79,80 €	319,2 €
Electroválvulas de 2 vías 2"	Unidad	126,78 €	380,34 €
Electroválvulas de 3 vías 1½"	Unidad	99,00 €	297,00 €
Módulo Relé de 8 canales DC 5 V	Unidad	10,99 €	21,98 €
Módulo Relé de 4 canales DC 5 V	Unidad	12,85 €	12,85 €
Caudalímetro YFs201 de ¾"	Unidad	3,95 €	4,95 €
LDR de 1000 Ohmios	Unidad	0,47 €	0,47 €
Sensor DHT11	Unidad	2,96 €	2,96 €
		TOTAL	2.553,79 €

PRESUPUESTOS – INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PROTECCIONES			
Elemento	Base	Valor (€/base)	Valor (€)
Variador	Unidad	114,09 €	114,09 €
Inversor	Unidad	446,99 €	446,99 €
Placas fotovoltaicas	Unidad	254,10 €	10164 €
Regulador 12-24V a 5V	Unidad	6,45 €	83,85 €
Regulador 24V a 12V	Unidad	6,30 €	12,6 €
Controlador	Unidad	650,0 €	6500,0 €
Módulos de baterías	Paquete	27.767,61 €	111.070,44 €
Fusibles de 100 A	Unidad	7,50 €	150 €
Fusibles de 250 A	Unidad	291,86 €	2.918,6 €
Fusibles de 80 A	Unidad	7,50 €	60,0 €
Fusibles de 2 A	Unidad	3,0 €	78,0 €

Fusibles de 25 A	Unidad	3,0 €	6,0 €
Fusibles de 40 A	Unidad	7,50 €	15,0 €
Diferenciales de 40 A	Unidad	153,12 €	153,12 €
Magnetotérmico de 1 A	Unidad	76,61 €	76,61 €
Magnetotérmico de 16 A	Unidad	24,53 €	24,53 €
Magnetotérmico de 8 A	Unidad	45,18 €	45,18 €
Magnetotérmico de 10 A	Unidad	9,99 €	9,99 €
Magnetotérmico de 10 A- Trifásico	Unidad	16,50 €	16,50 €
Cable XLPE de cobre de 35 mm ² de sección	Metro	6,33 €	1.392,6 €
Cable XLPE de cobre de 95 mm ² de sección	Metro	16,25 €	325,0 €
Cable XLPE de cobre de 25 mm ² de sección	Metro	4,71 €	75,36 €
Cable PVC de cobre de 1,5 mm ² de sección	Rollo	61,55 €	246,2 €
Cable PVC de cobre de 2,5 mm ² de sección	Rollo	99,35 €	198,7 €
Cable PVC de cobre de 10 mm ² de sección	Rollo	194,80 €	389,6 €
Cable PVC de cobre de 4 mm ² de sección	Rollo	76,90 €	153,8 €
		TOTAL	134.726,76 €

PRESUPUESTOS – INSTALACIÓN DEL INVERNADERO Y VENTILACIÓN			
Elemento	Base	Valor (€/base)	Valor (€)
Tuberías de acero galvanizado 900 m	Metros	20 €	18.000 €
Puertas de accesos	Unidad	200 €	400 €
Ventanas de ventilación	Unidad	100 €	300 €
Ventiladores	Unidad	600 €	3.000 €
Cubierta de cristal 900 m ²	Metro ²	20 €	18.000 €
Canalones de recogida de agua	Metro	5 €	1.500 €
Tornillos y elementos de fijación	Paquete	1.000 €	1.000 €
		TOTAL	41.200 €

PRESUPUESTOS – MANO DE OBRA		
Elemento	Valor (€/base)	Valor (€) (IVA)
Instalación del motor trifásico y componentes	378 €	457,38 €
Instalación del riego - Estructural y fontanería	3.400 €	4.114 €
Instalación del riego - Electrónica	4.750 €	5.747,5 €
Instalación eléctrica y de protecciones	3.783 €	4.577,43 €
Instalación del invernadero y ventilación	7.517,5 €	9.096,175 €
	TOTAL	2.458,79 €

PRESUPUESTOS TOTAL	
Elemento	Valor (€) (IVA)
Presupuesto – Mano de obra	2.458,79 €
Presupuesto – Instalación del invernadero y la ventilación	41.200 €
Presupuesto – Instalación eléctrica y protecciones	134.726,76 €
Presupuesto – Instalación del riego (Electrónica)	2.553,79 €
Presupuesto – Instalación del riego (Fontanería y estructural)	30.267,89 €
Presupuesto – Instalación del motor	2.458,9 €
	TOTAL
	213.666,13 €

Tarragona, 04 de septiembre del 2024

Javier Rodríguez Fernández



8 Conclusiones del proyecto

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha explorado la importancia y el impacto de los invernaderos como herramienta fundamental en la agricultura moderna. Estos sistemas no solo optimizan las condiciones de crecimiento de las plantas, sino que también permiten una producción más controlada y eficiente a lo largo del año. La implementación de invernaderos contribuye significativamente a la sostenibilidad y la rentabilidad de las explotaciones agrícolas, ofreciendo un entorno ideal para el cultivo de diversas especies vegetales.

El diseño y la gestión de un invernadero requieren una amplia gama de conocimientos especializados. Es crucial comprender aspectos técnicos relacionados con el clima controlado, la irrigación, la ventilación y la iluminación, entre otros. Además, la integración de tecnologías avanzadas y sistemas automatizados exige un dominio técnico para maximizar el rendimiento y la eficiencia del invernadero. El conocimiento en estos campos es esencial para garantizar el éxito y la sostenibilidad de las operaciones.

Un componente clave de la modernización de las instalaciones agrícolas es la integración de sistemas de energía renovable, como las instalaciones solares. La incorporación de paneles solares no solo reduce la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino que también proporciona beneficios económicos significativos. En el proyecto analizado, la instalación solar ha contribuido a la optimización del uso de energía, reduciendo los costos operativos y mejorando la eficiencia general del sistema.

El proyecto de instalación del invernadero ha tenido un coste total de 213,666.13 € y ha significado unos beneficios de 12,819.97 € (beneficio industrial). Mirando con detenimiento los presupuestos, se concluye que gran parte del coste total proviene de la instalación solar, pero esto se considera una inversión estratégica, ya que a lo largo del tiempo proporcionará ahorros significativos en los costos de energía y mejorará la rentabilidad global del invernadero.

En resumen, los invernaderos representan una inversión estratégica en la agricultura, proporcionando beneficios tanto en términos de producción como de sostenibilidad. La integración de tecnologías avanzadas y sistemas de energía renovable es crucial para maximizar estos beneficios y garantizar una operación eficiente y rentable. Este proyecto evidencia el valor de estas inversiones y proporciona una base sólida para futuras mejoras y desarrollos en el ámbito agrícola.

9 Referencias

2. Estado del arte

Referencias bibliográficas

Alan Stein y Nancy Virts, *The Conservatory: Gardens under glass*, World, 2020.

Dafna Langgut, *The Citrus Route Revealed: From Southeast Asia into the Mediterranean*, *HortScience*, 2017, Volumen 52: Número 6, 814-822.

Mario Pedro Lensak y Norma Iglesia, *Invernadero Tecnologías apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)*, INTA Ediciones, INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN, 2019.

Raúl Righini y Hugo Grossi Gallegos, *Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires*, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2005, Volumen 9, 1-4.

Maria Jose Denegri, *Medición de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) en planos con diferentes orientaciones, mediante el desarrollo y ensayo de un dispositivo ad-hoc, y verificación de modelos*, Universidad Nacional de Luján, Tesis de Doctorado, 2014.

Inmaculada Alados-Arboledas, *Estudio y modelización de la radiación fotosintéticamente activa*, Universidad de Granada, Tesis de Doctorado, 1997.

Yesid Ramos Gonzalías y Eduardo Ramírez Lasso, *Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores*, *Informador técnico*, 2016, Volumen 80: Número 2, 111-120.

Documento Básico SE-AE, *Seguridad Estructural Acciones en la edificación*. 3.5.1 y Anejo E, 2009, 1-46.

Informe anual de comercio exterior agroalimentario y pesquero 2021, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 2021, 1-175.

Informes y mapas mensuales de sequía y escasez. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020.

Informe del consumo alimentario en España 2022, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2022, 2-579.

Consum alimentari a les llars de Catalunya 2017 – 2021, Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural, 2017 – 2021, 1-180.

Referencias bibliográficas citadas

[14] Luis Ernesto Cervera-Gómez y Adrián Botello Mares. *Evaluación del recurso solar del Valle de Juárez*, El Colegio de Chihuahua, 2017, Capítulo:5 , 81-106.

[18] Raquel Salazar-Moreno, Ireneo L. López-Cruz, Ana Cristina Sánchez Cruz, *Modelo dinámico de balance de energía en un invernadero con cultivo de tomate: simulación, calibración y evaluación*, *Chapingo Ser.Hortic*, 2019, Volumen 25: Número 1, 1-16.

[20] Gabriela Laura Apaza, *COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO RELACIONADO A LA UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE RIEGO POR GOTEO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE CHOQUENAIRA*, Universidad Mayor de San Andrés, Tesis de Doctorado, 2014.

[24] Guillermo Vazquez – Velasquez, *Influencia del uso del Suelo en la Respuesta Hidrológica de Cabecera en los Andes Centrales de Colombia*, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Doctorado, 2016

[49] *Informe anual de comercio exterior agroalimentario y pesquero 2021*, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 2021, 1-175.

Referencias web

<https://www.archdaily.cl/cl/955137/la-evolucion-de-los-invernaderos-de-la-antigua-roma-al-singapur-contemporaneo>. [consulta] 17-10-2023

https://es.wikipedia.org/wiki/Plinio_el_Viejo. [consulta] 17-10-2023

<https://www.serres-lafrancaise.com/es/pagina/97-historia-de-los-invernaderos-de-jardin>. [consulta] 17-10-2023

<http://www.atrium-media.com/roqueclassicism/2004/01/07.html>. [consulta] 17-10-2023

https://es.wikipedia.org/wiki/Lapis_specularis. [consulta] 17-10-2023

<https://es.wikipedia.org/wiki/Renacimiento>. [consulta] 17-10-2023

<https://es.wikipedia.org/wiki/Orangerie>. [consulta] 17-10-2023

<https://solar.lowtechmagazine.com/es/2015/12/fruit-walls-urban-farming-in-the-1600s/>. [consulta] 17-10-2023

<https://es.wikipedia.org/wiki/Ondol>. [consulta] 17-10-2023

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hipocausto>. [consulta] 17-10-2023

https://es.wikipedia.org/wiki/Joseph_Paxton. [consulta] 17-10-2023

<https://dirigentesdigital.com/almeria-el-mar-de-plastico-que-ha-enriquecido-a-mucha-gente>. [consulta] 17-10-2023

Referencias web citadas

[1] <https://specularia.fer.hr/>. [consulta] 17-10-2023

[2] <https://www.elblogdelatabla.com/2018/08/cajas-naranjos-orangerie-jardines-versalles.html> . [consulta] 17-10-2023

[3] <https://castillosdeescocia.com/castillo-de-edzell/> . [consulta] 17-10-2023

[4] <http://mecanotecnia.blogspot.com/2010/09/el-ondol-la-ingeniosa-calefaccion.html>. [consulta] 17-10-2023

[5] <https://sites.google.com/site/tradicionrc/online/arquitectura/tradicionallagloria>. [consulta] 17-10-2023

[6] <https://es.dreamstime.com/photos-images/el-gran-invernadero-en-el-parque-de-syon.html>. [consulta] 17-10-2023

[7] https://www.researchgate.net/figure/Figura-14-El-invernadero-de-Chatsworth-antes-de-su-destruccion-en-1920-Kohlmaier-1981_fig8_321170258. [consulta] 17-10-2023

[8] <https://joseantonioarcos.wordpress.com/2015/09/05/invernaderos-holandeses-a-vista-de-pajaro-paises-bajos-i-parte/> [consulta] 17-10-2023

[9] https://www.65ymas.com/sociedad/asi-se-ve-el-mar-de-plastico-de-almeria-desde-el-espacio-las-imagenes-de-la-nasa_4705_102.html. [consulta] 17-10-2023

[10] <https://masindustrias.com.ar/invernadero-paneles-solares-una-misma-estructura/>. [consulta] 17-10-2023

[11] <https://www.lumigrow.com/learning-center/blogs/par-ppf-ppfd-dli-ppe/>. [consulta] 17-10-2023

[12] <https://es.wikipedia.org/wiki/Clorofila>. [consulta] 17-10-2023

[13] <https://ielectro.es/2020/01/16/luces-led-normas-invernadores/>. [consulta] 17-10-2023

[15] https://es.wikipedia.org/wiki/Cortina_rompeviento [consulta] 17-10-2023

[16] <https://www.mundoinvernaderos.com/malla-cortavientos>. [consulta] 17-10-2023

[17] <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/la-observacin-de-ondas-gravitacionales-695/la-belleza-cristalina-de-los-copos-de-nieve-14944>. [consulta] 17-10-2023

[19] <https://jardinday.com/malla-sombra/>. [consulta] 17-10-2023

- [21] <https://blogmx.jacto.com/tipos-de-riego/>. [consulta] 17-10-2023
- [22] <https://www.agroprecios.com/noticias.php/noticias/3898-la-ventilacion-en-invernaderos-y-su-mecanizacion?len=1>. [consulta] 17-10-2023
- [23] <https://www.novagric.com/es/tecnologia/clima-invernaderos/ventilacion/forzada>. [consulta] 17-10-2023
- [25] <https://nutricontrol.com/es/la-humedad-relativa-en-invernadero/>. [consulta] 17-10-2023
- [26] https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_invernaderos.pdf [consulta] 23-11-2023
- [27] <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/09/03/todo-sobre-la-botrytis-cinerea-o-podredumbre-gris-en-los-cultivos/> [consulta] 23-11-2023
- [28] <https://www.redagricola.com/cl/monitoreo-y-control-natural-de-mosquita-blanca-y-otros-insectos-de-importancia-agricola/>. [consulta] 23-11-2023
- [29] <https://www.biobestgroup.com/es/biobest/plagas-y-enfermedades/minadores-de-hojas-5007/>. [consulta] 23-11-2023
- [30] <https://controlbio.es/es/58-cromaticas-adhesivas>. [consulta] 23-11-2023
- [31] <https://ecoyambiente.com/?p=5423>. [consulta] 17-10-2023
- [32] <https://www.etifa.com/nueva-edicion-del-seminario-mejora-tu-produccion-en-invernaderos/> [consulta] 23-11-2023
- [33] <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/que-plantas-podemos-conseguir-hoy-viveros-nid2180001/>. [consulta] 23-11-2023
- [34] https://cosasdelorca.com/cosas_de_lorca/la-floricultura-del-guadalentin-ya-prepara-las-proximas-campanas-tras-la-crisis-del-covid19-id.30185.html/attachment/cultivo-de-claveles-murcia [consulta] 23-11-2023
- [35] <https://www.aenverde.es/semilleros-a-pleno-rendimiento-comienza-otra-campana/> [consulta] 23-11-2023
- [36] <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/materiales-y-estructuras/arcos-invernaderos> [consulta] 23-11-2023
- [37] <https://www.cmf-groupe.com/es/cmf-cultures-es/invernaderos-acristalados/> [consulta] 23-11-2023
- [38] <http://www.inveramel.com/productos/invernaderos-de-parral-multicapilla>. [consulta] 27-11-2023
- [39] <https://www.horticultivos.com/featured/principales-tipos-invernaderos/>. [consulta] 27-11-2023
- [40] <https://globalinvernaderos.com/invernadero-capilla/> [consulta] 27-11-2023
- [41] <https://globalinvernaderos.com/invernadero-gotico/> [consulta] 27-11-2023
- [42] <https://gogarsa.com/invernaderos/gotico> [consulta] 27-11-2023
- [43] <https://www.horticultivos.com/featured/principales-tipos-invernaderos/> [consulta] 27-11-2023
- [44] <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas> [consulta] 28-11-2023
- [45] <https://es.slideshare.net/fertinnnowa/sistema-hidroponico-recirculante-ngs-la-innovacin-tecnica-aplicada-a-la-agricultura-intensiva> [consulta] 28-11-2023
- [46] <https://es.slideshare.net/ComercializadoraMaya/descripcin-del-sistema-new-green-system-ngs-hidroponia> [consulta] 28-11-2023
- [47] <https://es.slideshare.net/fertinnnowa/sistema-hidroponico-recirculante-ngs-la-innovacin-tecnica-aplicada-a-la-agricultura-intensiva> [consulta] 28-11-2023
- [48] <https://ngssystem.com> [consulta] 28-11-2023

3. Memoria descriptiva

Referencias bibliográficas

Reglamento electrotécnico para baja tensión, Pablo Alcalde San Miguel, Ediciones Paraninfo, S.A, Segunda Edición, 2019.

UNE-EN 13031-1:2020, Invernaderos. Cálculo y construcción. Parte 1: Invernaderos para producción comercial, AENOR, 2023.

Georgios Nikolaou, Daminanos Neocleous, Anastasis Christou, Polycarpou Polycarpou, Evangelini Kitta y Nikolaos Katsoulas. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A review, Part II: Irrigation and Fertigation, Horticulturae, 2021, 1-20.

Yayu Wang, Tahir Muhammad, Zeyuan Liu, Changjian Ma, Changsheng Zhang, Zhenhua Wang, Xin He, Yunkai Li, Compounding with humic acid improved nutrient uniformity in drip fertigation system using brackish water: The perspective of emitter clogging, Elsevier, 2022.

Guoxiang Sun, Xue Li, Xiaochan Wang, Yongbo Li, Man Chen, Yu Zhang, Tingting Yan, Design and testing of a nutrient mixing machine for greenhouse fertigation, J-STAGE, Volumen 8: Número 2, 114-121.

Alberto Imbernón-Mulero, José F. Maestre-Valero, Victoriano Martínez-Alvarez, Francisco J. García-García, Francisco J. Jódar-Conesa y Belén Gallego-Elvira, Evaluation of autonomous Smart system for optimal management of fertigation with variable sources of irrigation water, Original Research, 2023, 1-12.

Martin Aguilar Tlatelpa, Víctor Hugo Volke Haller, Prometeo Sánchez García, Mario Pérez Grajales, Mario Pérez Grajales, Marja Liza Fajardo Franco, Concentración y extracción de macronutrientes en cuatro variedades de fresa. Revista mexicana de ciencia agrícola, Volumen 10: Número 6, 2019.

Referencias bibliográficas citadas

Referencias web

<https://www.gallegamallas.es/index.php/productos/armadura> [consulta] 11-2-2024

<https://solarinnova.net/es/servicios/instalaciones/fotovoltaica/invernaderos#2-01> [consulta] 11-2-2024

<https://es.slideshare.net/slideshow/sistema-hidroponico-recirculante-ngs-la-innovacin-tnica-aplicada-a-la-agricultura-intensiva/128646233> [consulta] 15-3-2024

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105026/UNPR_CUADERNILLO_2014__visitas_ROTAFOLIO.pdf [consulta] 15-3-2024

<https://www.boe.es/boe/dias/2021/01/25/pdfs/BOE-A-2021-1052.pdf> [consulta] 15-3-2024

<https://casasdecultivo1.blogspot.com/2010/10/hidroponia-en-recirculacion-por-multi.html> [consulta] 4-3-2024

<https://es.slideshare.net/slideshow/descripcin-del-sistema-new-green-system-ngs-hidroponia/251293020> [consulta] 4-3-2024

<https://www.bialarblog.com/tipos-de-invernadero-clasificacion-caracteristicas/> [consulta] 4-3-2024

<https://es.slideshare.net/slideshow/sistema-hidroponico-recirculante-ngs-la-innovacin-tnica-aplicada-a-la-agricultura-intensiva/128646233> [consulta] 4-3-2024

<https://drco-mag.yolasite.com/resources/MATERIALESytiposdeINVERNADEROS.pdf> [consulta] 4-3-2024

https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/3-visiondelainvestigacionespanajeronimoperez_tcm30-379494.pdf [consulta] 19-3-2024

<https://agroinvernaderos.webnode.es/construccion-de-un-invernadero/medidas/> [consulta] 19-3-2024

<https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-termicas-sector> [consulta] 19-3-2024

<https://www.hidrotecnologia.com/web/media/CATALOGO-TECNOAGUA-2023.pdf> [consulta] 14-2-2024

<https://www.youtube.com/watch?v=Oz8rFxDL2c> [consulta] 14-2-2024

<https://sqmnutrition.com/downloadpdf/38089> [consulta] 28-11-2024

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=290#:~:text=El%20riego%20tambi%C3%A9n%20pued%20ser,la%20floraci%C3%B3n%20y%20el%20desarrollo. [consulta] 28-11-2024

<https://www.youtube.com/watch?v=Oz8rFxDL2c> [consulta] 28-11-2024

<https://www.youtube.com/watch?v=d1rvpAMbgXk&t=336s> [consulta] 28-11-2024

<https://calslab.snu.ac.kr/bical/doc.view?mcode=131113&cate=131113> [consulta] 27-11-2024

https://infoagro.com/abonos/docs/recirculacion_nutritiva.htm [consulta] 27-11-2024

<https://infoagro.com/abonos/docs/images/9803.a2.gif> [consulta] 27-11-2024

Referencias web citadas

[50] https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2002072845-hidroponia-sistema-hidroponico-multibanda-para-fresa-_JM#position=7&search_layout=grid&type=item&tracking_id=050cc06d-31e0-4e56-8618-ffdb8ff7e72c [consulta] 15-3-2024

[51] <https://casasdecultivo1.blogspot.com/2010/10/hidroponia-en-recirculacion-por-multi.html> [consulta] 15-3-2024

[52] https://pdf.agriexpo.online/es/pdf/new-growing-system-sl/sistemas-hidroponia-ngs/187383-31639-_4.html [consulta] 15-3-2024

[53] <https://es.slideshare.net/cristinaparra/presentacion-ngs> [consulta] 15-3-2024

[54] <https://www.degierdrivesystems.com/es/productos/motorreductores/motorreductores-gw/acoplamientos-de-cadena-gw/p.gw80.2.400.40.kw/gw80/groups/g+c+a+nr+s+view> [consulta] 27-3-2024

[55] <https://www.degierdrivesystems.com/es/artnr/pbbkw108bz16d125/pinon-para-cadena-soldado-a-tubo-08b-z16--5-4> [consulta] 27-3-2024

[56] <https://www.degierdrivesystems.com/es/artnr/pk1100ra092/placa-de-cojinete-de-bolas-1-r-a92-1153> [consulta] 27-3-2024

[57] <https://www.degierdrivesystems.com/es/artnr/pkabelring/anillo-de-cable-abrazadera-1-d36-d50-4x-4-5> [consulta] 27-3-2024

[58] <https://www.degierdrivesystems.com/es/productos/acoplamientos/pinones-y-cadenas/cadenas/groups/g+c+a+view> [consulta] 27-3-2024

[59] [https://www.amazon.es/piezas-engranaje-dientes-agujero-interior/dp/B09W9PTY7K/ref=sr_1_1?dib=eyJ2IjoiMSJ9.MUcv7cMKD8c4dYQezV-F964cpFpsa2bPLmqLcWt1XkUtMH_GTh2pHX0gghrld6rCeK1vrfIJWN7rGRNYQj6UI3ch_rdDyOZ83cK4afDgkuB_HuSm-eUtRILNb5xZSUjIoazRNVFBWIA3p88r8E8KNtORZCpO4i8OQQGSWnAhif_A37IQi04Nf8WlsDnSMNSqOxZcHMkBC_8IFS3FMGdWaTEep7GFyAPYtCKHyfSs5vpIMf89ITiV56-bUKjEo-LM8SebG8qMYIggTK6GQtGC1zeAH39oBIFkqeoJBuWvPI.C1ELmWPXC1foREx4fP-CTdsAMZHUqvTVVFXyQEACs6k&dib_tag=se&keywords=engranajes+c%C3%B3nicos+5%2F4"&qid=1716578085&sr=8-1](https://www.amazon.es/piezas-engranaje-dientes-agujero-interior/dp/B09W9PTY7K/ref=sr_1_1?dib=eyJ2IjoiMSJ9.MUcv7cMKD8c4dYQezV-F964cpFpsa2bPLmqLcWt1XkUtMH_GTh2pHX0gghrld6rCeK1vrfIJWN7rGRNYQj6UI3ch_rdDyOZ83cK4afDgkuB_HuSm-eUtRILNb5xZSUjIoazRNVFBWIA3p88r8E8KNtORZCpO4i8OQQGSWnAhif_A37IQi04Nf8WlsDnSMNSqOxZcHMkBC_8IFS3FMGdWaTEep7GFyAPYtCKHyfSs5vpIMf89ITiV56-bUKjEo-LM8SebG8qMYIggTK6GQtGC1zeAH39oBIFkqeoJBuWvPI.C1ELmWPXC1foREx4fP-CTdsAMZHUqvTVVFXyQEACs6k&dib_tag=se&keywords=engranajes+c%C3%B3nicos+5%2F4) [consulta] 27-3-2024

[60] <https://www.amazon.es/Galvanizada-Refuerzo-estructura-hormigon-paquete/dp/B0B4JYGM67.> [consulta] 27-3-2024

[61] <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-rtd/4553968> [consulta] 11-2-2024

[62] <https://tiendaonline.bricotoolspack.com/p7182778-deposito-aquablock-xl-3000-litros.html> [consulta] 11-2-2024

[63] <https://tiendahidroserver.es/deposito-vertical-fondo-plano/215-depositos-para-agua-potable-10000-litros.html> [consulta] 11-2-2024

- [64] https://es.rs-online.com/web/p/complementos-de-bbc-micro-bit/2153181?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-CSS_ES_ES_Pmax_Test-_-_-2153181&matchtype=&&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA_tuuBhAUEiwAvxkgTo3HB0zsx4O-0QZmTzPyjFr1wq_keAjCVIxfUcfV_Mgt2r3F9NBk2BoCLY8QAvd_BwE&gclsrc=aw.ds [consulta] 11-2-2024
- [65] <https://html.alldatasheet.es/html-pdf/1132203/ETC2/HC-SR04/347/3/HC-SR04.html>. [consulta] 11-2-2024
- [66] <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-rttd/4553968> [consulta] 11-2-2024
- [67] <https://www.amazon.com/-/es/GAOHOU-PH0-14-detección-electrodo-Arduino/dp/B0799BXMVJ> [consulta] 12-2-2024
- [68] https://www.amazon.es/CQRobot-Ocean-Compatible-Scientific-Laboratory/dp/B08KXRHK7H/ref=asc_df_B08KXRHK7H/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=495884002990&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=18351238743504821558&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20294&hvtargid=pla-1105654156265&pssc=1&mcid=977540a66eb13678b4b317484d705574#customerReviews. [consulta] 12-2-2024
- [69] https://www.amazon.es/dp/B07PC1GWSD/ref=sspa_dk_detail_0?pd_rd_i=B06WW2T1HQ&pd_rd_w=dvtOm&content-id=amzn1.sym.bfe1aafd-4816-4cfa-834a-7067dfa431bd&pf_rd_p=bfe1aafd-4816-4cfa-834a-7067dfa431bd&pf_rd_r=563C86PEK6QX9FXS5JZF&pd_rd_wg=Jorg3&pd_rd_r=fcc33ec3-57cb-4156-b270-31caa0983aa4&s=tools&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhaWwy&th=1. [consulta] 12-2-2024
- [70] <https://es.rs-online.com/web/p/elementos-de-calefaccion/2692638?gb=s> [consulta] 21-4-2024
- [71] https://www.e-purificador.es/ultravioletas/315-6-gpm-25w-esterilizador-ultravioleta-uv-desinfeccion-agua.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwu8uyBhC6ARIsAKwBGpTbCiGsKfysER3Ssz83DNLbNmLOKJuIWGmwKvWHBXQH4Icv6TPxEws8aAsFoEALw_wcB. [consulta] 13-2-2024
- [72] https://www.amazon.es/12v-24v-motorizada-normalmente-electrovalvula/dp/B07V412L6C/ref=asc_df_B07V412L6C/?tag=&linkCode=df0&hvadid=420372108670&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=8137029345443976642&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20294&hvtargid=pla-824005025279&mcid=6f82a1d1295636dc8b3c839917045a02&ref=&adgrpid=99023813751&th=1 [consulta] 13-2-2024
- [73] https://www.amazon.es/12v-24v-motorizada-normalmente-electrovalvula/dp/B07V3YQ5NF/ref=asc_df_B07V412L6C/?tag=&linkCode=df0&hvadid=420372108670&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=8137029345443976642&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20294&hvtargid=pla-824005025279&mcid=6f82a1d1295636dc8b3c839917045a02&ref=&adgrpid=99023813751&th=1. [consulta] 13-2-2024
- [74] https://www.amazon.es/dp/B07BHJ7D21/ref=sspa_dk_detail_0?pd_rd_i=B07BHJ2Q84&pd_rd_w=w07t8&content-id=amzn1.sym.9c67f205-18e7-4d34-beb2-37ec708092ed&pf_rd_p=9c67f205-18e7-4d34-beb2-37ec708092ed&pf_rd_r=RZBS9KYMCF5QMXJY3VJA&pd_rd_wg=jk4h8&pd_rd_r=11e93b14-4f59-4978-a68b-4ae249cd5fc5&s=tools&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9kZXRhaWw&th=1. [consulta] 13-2-2024
- [75] https://www.amazon.es/ELEGOO-optoacoplador-Arduino-2560-1280-DSP-STM32-Raspberry/dp/B01M61VVGv/ref=asc_df_B01M61VVGv/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=646726966072&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=11706227407142107665&hvpon=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=20294&hvtargid=pla-617117652927&mcid=8f3e9a529f9836c187a1bb8d913fb3bb&th=1 [consulta] 13-2-2024
- [76] <https://www.joom.com/es/products/6358cf80b934ff0137139807> [consulta] 13-2-2023
- [77] <https://tienda.bricogeek.com/otros-sensores/936-sensor-de-flujo-yf-s201.html> [consulta] 13-2-2024
- [78] https://www.amazon.es/Vaciado-Capacidad-Fabricado-Filtración-Agricultura/dp/B0B4GLDFNJ/ref=pd_bxgy_d_scc1_1/261-6116021-4836531?pd_rd_w=HkCn1&content-id=amzn1.sym.751f6d45-2e74-409b-8d49-b8a4d642cff2&pf_rd_p=751f6d45-2e74-409b-8d49-b8a4d642cff2&pf_rd_r=FMPZZEZ1FXVC7NMH861A&pd_rd_wg=uAyRr&pd_rd_r=de480e28-8d5c-4009-9633-638dc2050efc&pd_rd_i=B0B4GLDFNJ&pssc=1 [consulta] 14-2-2024
- [79] <https://www.hidrotecnologia.com/fit-enlace-rosca-macho/>. [consulta] 14-2-2024

- [80] <https://www.hidrotecnoagua.com/fit-enlace-rosca-hembra/>. [consulta] 14-2-2024
- [81] https://www.poolaria.com/accesorios-de-pvc/1061-reduccion-conica-pvc-encolar.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAivGuBhBEEiwAWiFmYZsrT98sq8UZabIgVKCSebQUC9nW_m5armDCO3nRFPPrjw9yikWx08hoCkHAQAvD_BwE#/2333-medida-o_75_63_x_50 [consulta] 14-2-2024
- [82] https://www.poolaria.com/accesorios-de-pvc/1057-cruz-pvc-encolar.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAivGuBhBEEiwAWiFmYZs3SkYC7MyVrCENLGRML3Eg6DEwOm0iZgdyfgr8bdKPrHP5mdEB-wRoC5HYQAvD_BwE#/2243-medida-o_50 [consulta] 14-2-2024
- [83] <https://mundoriego.es/producto/sifon-de-evacuacion-110-deposito-agua/> [consulta] 14-2-2024
- [84] <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1817.pdf> [consulta] 28-11-2023
- [85] <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/sistema-hidroponicos-soluciones-nutritivas-fresa> [consulta] 28-11-2024
- [86] https://www.ematsa.cat/es/controles_de_calidad/ [consulta] 28-11-2024
- [87] https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf [consulta] 5-3-2024
- [88] https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina131.pdf?ts=1717098222296&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F [consulta] 13-4-2024
- [89] <https://www.epitran.it/ebayDrive/datasheet/25.pdf>. [consulta] 13-4-2024
- [90] <https://datasheetspdf.com/datasheet-pdf/1462373/LM044L.html> [consulta] 13-4-2024
- [91] <https://www.swhgroup.eu/sp-net-metering.html> [consulta] 13-4-2024
- [92] <https://es.dreamstime.com/fotografia-de-archivo-inversor-el%C3%A9ctrico-image31857532> [consulta] 13-4-2024
- [93] <https://horizonelectronica.com> [consulta] 13-4-2024
- [94] <https://www.istockphoto.com/es/fotos/ilustraciones-de-baterias-para-carros> [consulta] 13-4-2024
- [95] <https://www.shutterstock.com/es/search/solar-charge-controller> [consulta] 13-4-2024
- [96] <https://es.vecteezy.com/arte-vectorial/15317769-objeto-vectorial-de-color-semiplano-de-paneles-solares-tecnologia-de-energia-alternativa-elementos-editables-articulos-de-tamano-completo-en-blanco-ilustracion-de-estilo-de-dibujos-animados-simple-para-diseno-grafico-web-y-animacion> [consulta] 13-4-2024
- [97] <https://www.pngwing.com/es/free-png-smuql> [consulta] 13-4-2024
- [98] <https://cdn.autosolar.es/pdf/Victron-MPPT-Smart-250-60-a-100.pdf> [consulta] 13-4-2024
- [99] https://eur.vevor.com/pure-sine-wave-inverter-c_10760/5000w-24v-230v-pure-sine-power-inverter-generator-10000w-peak-convenient-p_010529949848?adp=gmc&country=ES&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_id=17658572547&ad_group=&ad_id=&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCCQjwsPCyBhD4ARIsAPaaRf1-nZBqbSp_vVeno6NH895zen-Wtn2umj8fgfAXzS_tXgxQnyuf0nQaAuhrEALw_wcB [consulta] 13-4-2024
- [100] <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-opzs-2v/acumulador-estacionario-bae-2v-4420ah> [consulta] 13-4-2024
- [101] https://cdn.autosolar.es/pdf/BAE_SECURE_SOLAR.pdf [consulta] 13-4-2024
- [102] <https://es.aliexpress.com/item/1005001703292030.html?spm=a2g0o.detail.1000023.1.3680rQLTrQLT9e&gatewayAdapt=glo2esp> [consulta] 13-4-2024
- [103] https://es.aliexpress.com/item/1005002474796797.html?pdn_pi=4%40dis%21EUR%21%20114%2C48%21%20114%2C48%21%21%21121.00%21121.00%21%402103888a17173497281048990e0b50%2112000020781665652%21sh%21ES%210%21&spm=a2g0o.store_pc_allItems_or_groupList.new_all_items_2007524655870.1005002474796797&gatewayAdapt=glo2esp [consulta] 13-4-2024

[104] https://cdn.autosolar.es/pdf/fichas-tecnicas/RSM132-8-650-670BMDG-Risen.pdf?_gl=1*1n9hkm4*_up*MQ..&gclid=Cj0KCQjwsPCyBhD4ARIsAPaaRf3OBpLaV0WXuleRe4dwj8i6cGqrXsfISXte505xte1eM7Px_44yh_MaAi_NEALw_wcB&gclsrc=aw.ds [consulta] 13-4-2024

[105] https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-660w-bifacial-risen-rsm132-8?_gl=1*1n9hkm4*_up*MQ..&gclid=Cj0KCQjwsPCyBhD4ARIsAPaaRf3OBpLaV0WXuleRe4dwj8i6cGqrXsfISXte505xte1eM7Px_44yh_MaAi_NEALw_wcB&gclsrc=aw.ds [consulta] 13-4-2024

[106] https://es.aliexpress.com/item/1005004841076254.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=439-079-4345&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=439-079-4345&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&ds_e_adid=&ds_e_matchtype=&ds_e_device=c&ds_e_network=x&ds_e_product_group_id=&ds_e_product_id=es1005004841076254&ds_e_product_merchant_id=108902652&ds_e_product_country=ES&ds_e_product_language=es&ds_e_product_channel=online&ds_e_product_store_id=&ds_url_v=2&albcP=18928172568&albag=&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwsPCyBhD4ARIsAPaaRf0gu36MaoUbid_vk2mwjk_CexknfHTN80a8DmHOXo70BzWFrCv4gl4aAqi0EALw_wcB&aff_fcid=f642e5284a7c47f4bbf243e4aaac5ce8-1717354070818-02105-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=f642e5284a7c47f4bbf243e4aaac5ce8-1717354070818-02105-UneMJZVf&terminal_id=cdc0caca7e74586bd5e027bf94405b6&afSmartRedirect=y [consulta] 13-4-2024

[107] https://tienda.bricogeek.com/convertidores-de-voltaje/1650-regulador-dc-dc-12-24v-a-5v-5a.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwsPCyBhD4ARIsAPaaRf1dVsmUAk5AJEbUgH8ahIZh--va8rWYX_pRR7jt2g9qocINS054gcwaAgsUEALw_wcB [consulta] 13-4-2024

[108] <https://www.programasolar.com/motor-trifasico-con-paneles-solares/> [consulta] 13-4-2024

[109] https://es.wikipedia.org/wiki/Reduced_instruction_set_computing [consulta] 13-4-2024

[110] <https://www.youtube.com/watch?v=Pi2bd57ktYA&t=33s> [consulta] 13-4-2024

[111] <https://www.ziehl-abegg.com/es/detail/FE2owlet/FN063-6IS.BD.V7P2/162210> [consulta] 7-6-2024

[112] https://www.electromaterial.com/epages/eb2961.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb2961/Products/381270 [consulta] 7-6-2024

[113] https://www.electromaterial.com/epages/eb2961.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb2961/Products/381271 [consulta] 7-6-2024

[114] https://www.electromaterial.com/epages/eb2961.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb2961/Products/381211 [consulta] 7-6-2024

[115] https://www.electromaterial.com/epages/eb2961.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb2961/Products/381265 [consulta] 7-6-2024

[116] <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/phoenixcontact/val-ms-t1-t2-1000dc-pv-2v-fm-40-1099593-phoenix-contact-proteccion-contra-sobretensiones> [consulta] 7-6-2024

[117] <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/eaton-moeller/high-speed-square-body-170e5421-eaton-electric-170e5421> 7-6-2024 [consulta] 7-6-2024

[118] <https://www.manomano.es/p/magnetotermico-acti9-ic60h-2p-1-a-c-curva-10000-a-iec-60898-1-70-ka-iec-60947-2-a9f84201-33193363> [consulta] 7-6-2024

[119] https://www.electromaterial.com/epages/eb2961.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb2961/Products/381267 7-6-2024

[120] <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos-magnetotermicos/0131977> [consulta] 7-6-2024

[121] https://www.amazon.es/Bticino-Interruptor-magnetotermico-FC820C16-Btdin45/dp/B07X134WWP/ref=sr_1_121?dib=eyJ2IjojMSJ9.P6KoNw6qONMauUN--n0V55hzae2XKr-

4IPrlZoKR0X9Sil8zsHIIAkCbACvRQnMkArNqA2zwy9N7yCjIvwa2VoZgziljHk6Mrv-7ZxqN9xYOSz7Ce2EWmxQhIM8UT98aQOU3L39BJZSSpqmPfeuPZhR1CW8vAq-BqHU3g0va]--E-hy8Me4v-WHmXgrQGeAyOLBl0IN-Vw47dKEJ4SR1K98N9fdHLJGglSBCqELLFX-48tKeMxo2QlarnH-ETfSRAPG1UmDU4zbcCIvnuFe6_z8WmnnxpxSG_EZC4xCb1Ro.fd9ONk1ykLP_cOBTbCn7_mpN57KeGFyl_VEwvCZbD0&dib_tag=se&keywords=magnetotermico+2a&qid=1725245531&sr=8-121 [consulta] 7-6-2024

[122] [\[123\] \[\\[124\\] \\[\\\[125\\\] \\\[\\\\[126\\\\] \\\\[\\\\\[127\\\\\] \\\\\[Página 168 de 202\\\\\]\\\\\(https://www.ilumitec.es/cable-flexible-libre-halogenos-750-v \\\\\[consulta\\\\\] 7-6-2024</p></div><div data-bbox=\\\\\)\\\\]\\\\(https://www.ilumitec.es/cable-unipolar-libre-halogenos-06-1kv-rz1k \\\\[consulta\\\\] 7-6-2024</p></div><div data-bbox=\\\\)\\\]\\\(https://www.amazon.es/AZDelivery-Temperatura-Compatibile-Arduino-Incluido/dp/B089W7Y1WN/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=ÁMÁŽŮŇ&crd=FLFECSPCDE4Q&dib=eyJ2IjoiMSJ9.IVZ24i0YmC5kQJ06IWpc8e-YYOykwVxOkD9IUlulTne17ybI67aj54SC4x2fBgKD643h829WaFLzuh_QGplndDHT_NKp9xLYz3AQsTCYih5XrLmWzON280JAuANG0Fdn-UH-23rWDA6q863WwxB3A5cuNPVdc0DEbfMzAjjPxoomm-oHYRRGYgsxml6j56liqvoU7b0oIWWNcsRa5dWnzPfw7Bkp-3sRNbKEf0kQ5t7Y8mAv9lIxsBe0jPcEbntn6JRMb1ugHy-hgOL5_THFEeh1_KsfpX-XDbP2hKT-7c.HTw24PpM4ahU6sQ7Uq7jhofZl3tyCCVMwfgj2_w2axQ&dib_tag=se&keywords=sensor%2Bhumedad%2Btemperatura%2Barduino&qid=1725315706&sprefix=sensor%2Bhumedad%2Btemperatura%2Barduino%2Caps%2C90&sr=8-5&th=1 \\\[consulta\\\] 7-6-2024</p></div><div data-bbox=\\\)\\]\\(https://www.amazon.es/Photoresistor-fotoreistor-Sensor-Resistor-Light-Dependent/dp/B07CZJKBPK/ref=sr_1_5?dib=eyJ2IjoiMSJ9.qHxEhGrN6iKKmS16TXJ4VxcvDX7eVxy6PU94hpOKuJ7J247vWkZrZRp3-EfvfLIJx9ZEbjuW951-5eIJzD_WQzo5aUtqBwb1zEiH9uTByigQkr0SMjjiSvR4fNmKlQdMZnuhWOL_3QqfXPDn970kd47yAN3x69AoEAbhx8OqTjXmIwEozQGoAmG8xiMPLv7vPS6xzWDb8LNIHBIQDnZWTJjMm-sX1nAfqZ3rDQdkwJskFZSGKdnlEmIwG9Fagw_s4EN4jPjoVMO4hvtA-dTBBhupKVgwk7Xbk4C51Xi6Xk.nPkeHZyniS7KsBPV_ImfCGeo5et4scloyJnH_OE2GaA&dib_tag=se&keywords=resistencia+ldr&qid=1725315649&sr=8-5 \\[consulta\\] 17-6-2024</p></div><div data-bbox=\\)\]\(https://www.amazon.es/Interruptor-Automático-Magnetotérmico-industrial-MSN81NC/dp/B07XTKP141/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=ÁMÁŽŮŇ&crd=37RBMKC2YCMIP&dib=eyJ2IjoiMSJ9.hHrwRPIf1aGYL0IkV0nytbvvpbVjPkVgXskLu1b8U1Wk79mKx7btjyZSVxE9kZw0bdmKWQNRjd_gCL3GyQeQWQGtItH-PtnrsVJQGsYzN2DxVZ2GUPcvUj-ZavpPZQ6np9v7puV1OGKGt-UtqfkrJFM2n6m39eckXymUY2nrV507jQ0fHlwXANHiNAtyHHdY3DhtFSmIsYDScHfuG3X8M54FguK-_HYFgxOsP6GdF78ieWXCzmZupQFAYgnN05rEANoRBrOH8b-iVPvxTRkgKDsMePTvVA3bQu5wYEkgSmw.YZ5hCfuVJ12qpUPGR45qAA3_8W0P6Nkd6p880eVMYcg&dib_tag=se&keywords=magnetotermico%2Bc6&qid=1725277599&sprefix=magnetotermico%2Bc6%2Caps%2C73&sr=8-5&th=1 \[consulta\] 7-6-2024</p></div><div data-bbox=\)](https://www.amazon.es/Interruptor-Automático-Magnetotérmico-industrial-MSN81NC/dp/B07XTNBLP2/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=ÁMÁŽŮŇ&crd=37RBMKC2YCMIP&dib=eyJ2IjoiMSJ9.hHrwRPIf1aGYL0IkV0nytbvvpbVjPkVgXskLu1b8U1Wk79mKx7btjyZSVxE9kZw0bdmKWQNRjd_gCL3GyQeQWQGtItH-PtnrsVJQGsYzN2DxVZ2GUPcvUj-ZavpPZQ6np9v7puV1OGKGt-UtqfkrJFM2n6m39eckXymUY2nrV507jQ0fHlwXANHiNAtyHHdY3DhtFSmIsYDScHfuG3X8M54FguK-_HYFgxOsP6GdF78ieWXCzmZupQFAYgnN05rEANoRBrOH8b-iVPvxTRkgKDsMePTvVA3bQu5wYEkgSmw.YZ5hCfuVJ12qpUPGR45qAA3_8W0P6Nkd6p880eVMYcg&dib_tag=se&keywords=magnetotermico%2Bc6&qid=1725277599&sprefix=magnetotermico%2Bc6%2Caps%2C73&sr=8-5&th=1 [consulta] 7-6-2024</p></div><div data-bbox=)

10 Anexos

10.1 Variables globales, librerías y constantes

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "Clases.h"

const int conversion = 7; //Segun el datasheet son 7,5 pero se utilizará 7 para evitar flotantes
//Flow rate pulse characteristics: Frecuency (Hz) = 7.5 * Flowrate (L/min)
const int TRIG_PIN[7] = {22,24,26,28,30,32,34}; // Pines digitales conectados al TRIG del HC-SR04
const int ECHO_PIN[7] = {23,25,27,29,31,33,35}; // Pines digitales conectados al ECHO del HC-SR04
const int RELAY_A_PIN[8] = {36,37,38,39,40,41,42,43}; // Pines digitales conectados al Relay de 8-CH
const int RELAY_B_PIN[8] = {44,45,46,47,48,49,50,51}; // Pines digitales conectados al Relay de 8-CH
const int RELAY_C_PIN[4] = {62,63,64,65}; // Pines digitales conectados al Relay de 4-CH
const int POT = A0; // Pin digital conectado al potenciómetro
const int TPTA = A1; // Pin digital conectado al sensor temperatura
const int CE1 = A2; // Pin digital conectado al sensor ce de la solución
const int CE2 = A3; // Pin digital conectado al sensor ce de los lixiviados
const int PH = A4; // Pin digital conectado al sensor de ph
const int LDR = A5; // Pin digital conectado al ldr

const int BOTON_INICIO = 18; // Pin digital conectado a INT3
const int BOTON = 19; // Pin digital conectado a INT2
const int CAUDAL1 = 2; // Pin digital conectado a INT4
const int CAUDAL2 = 3; // Pin digital conectado a INT5

Sistema Riego(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);
uint8_t contador = 0;
uint16_t medicion = 0;
bool comprobacion = false, inicio = true, preparacion = false, regando = false;
volatile bool estado_puls = false, estado_puls_inicio = false, mezclado = false, liberando_solucion = true;
```

```
volatile unsigned long pulsos_contador1 = 0, pulsos_contador2 = 0, caudal1 = 0, caudal2 = 0;
```

10.2 Interrupciones y Timer

```
void ISR_2()
```

```
{  
  cli(); //Se deshabilitan las interrupciones  
  estado_puls = !estado_puls; //Cambia el estado  
  sei(); //Se habilitan las interrupciones  
}
```

```
void ISR_3()
```

```
{  
  cli(); //Se deshabilitan las interrupciones  
  estado_puls_inicio = !estado_puls_inicio; //Cambia el estado  
  sei(); //Se habilitan las interrupciones  
}
```

```
void ISR_4()
```

```
{  
  cli(); //Se deshabilitan las interrupciones  
  pulsos_contador1++; //Se incrementan los pulsos del caudalimetro de la entrada del invernadero  
  sei(); //Se habilitan las interrupciones  
}
```

```
void ISR_5()
```

```
{  
  cli(); //Se deshabilitan las interrupciones  
  pulsos_contador2++; //Se incrementan los pulsos del caudalimetro de la salida del invernadero  
  sei(); //Se habilitan las interrupciones  
}
```

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
cli(); //Se deshabilitan las interrupciones

int tpta = 0, ce = 0, ph = 0;

if(Riego.segundos < 30) //Cada 2s salta el timer y 2*30= 60 s -> 1 min
{
Riego.segundos++; //Se incrementa el segundero
}
else
{
Riego.segundos = 0; //Se reinicia el segundero
if(Riego.minutos < 60)
{
Riego.minutos++; //Se incrementa el minuterio
}
else
{
Riego.minutos = 0; //Se reinicia el minuterio
if(Riego.horas < 12)
{
Riego.horas++; //Se incrementan las horas
}
else
{
Riego.horas = 0; //Se reinician las horas
}
}
}

if((mezclado == false) && (Riego.minutos < 60))

```

```

{
    tpta= Riego.parametros_solucion(A1, "tpta");// Se mide la temperatura de la solucion
    ce = Riego.parametros_solucion(A2, "CE");// Se mide la conductividad electrica de la solucion
    ph = Riego.parametros_solucion(A4, "pH");// Se mide el pH de la solucion
}

else if((mezclado == false) && (Riego.minutos >= 60))
{
    Riego.motivos_no_riego();//Se analiza el motivo por el que no se ha iniciado el riego todavia
    mezclado = true;//Si sale de la funcion significa que el riego no es adecuado, pero no peligroso y se sigue
    el riego
}

else if((liberando_solucion == true) && (Riego.horas == 1))
{
    liberando_solucion = false;//Se acabó el tiempo entre riegos y le toca el siguiente riego
}

else if(Riego.minutos < 60)
{
    Riego.invernadero(LDR, RELAY_B_PIN);//Estado del invernadero
}

sei();//Se habilitan las interrupciones
}

```

10.3 Función control_caudal ()

```

void control_caudal()
{
    unsigned long dif_tiempo = 0, tiempo_actual = 0, tiempo_anterior = 0, litros_entrada = 0, litros_salida = 0;
    static int moduloA = 0, moduloB = 0;

    // Se calcula el tiempo transcurrido entre las mediciones de los caudalímetros
    tiempo_actual = millis();
    dif_tiempo = tiempo_actual - tiempo_anterior;
}

```

```

if (dif_tiempo > 1000) // Cada vez que la diferencia de tiempo sea igual o mayor a un segundo se actualiza
{
cli(); // Se desactivan las interrupciones

// Calcula la tasa de flujo en litros por minuto para el caudalímetro 1
caudal1 = (pulsos_contador1 * 60) / conversion; // Litros por minuto
litros_entrada = pulsos_contador1 * 2; //DATASHEET: YF-S201: 1 Pulso = 2,25 mL

if((litros_entrada % 4) == 0) //Forma de añadir los 0,25 sin flotantes
{
litros_entrada = litros_entrada + (litros_entrada/4);
}
else
{
litros_entrada = litros_entrada + (litros_entrada/4);
moduloA = moduloA + (litros_entrada % 4);
}

if(moduloA == 4) //0,25 * 4 = 1
{
litros_entrada = litros_entrada + 1;
moduloA = 0; //Se reinicia
}

Riego.litros_entrada_totales = Riego.litros_entrada_totales + litros_entrada; //Se almacenan los litros totales
sacados por el deposito de mezcla

// Calcula la tasa de flujo en litros por minuto para el caudalímetro 2
caudal2 = (pulsos_contador2 * 60) / conversion; // Litros por minuto
litros_salida = pulsos_contador2 * 2; //DATASHEET: YF-S201: 1 Pulso = 2,22 mL

if((litros_salida % 4) == 0) //Forma de añadir los 0,25 sin flotantes
{

```

```

    litros_salida = litros_salida + (litros_salida/4);
}
else
{
    litros_salida = litros_salida + (litros_salida/4);
    moduloB = moduloB + (litros_salida % 4);
}

if(moduloB == 4) //0,25 * 4 = 1
{
    litros_salida = litros_salida + 1;
    moduloB = 0; //Se reinicia
}

Riego.litros_salida_totales = Riego.litros_salida_totales + litros_salida; //Se almacenan los litros totales
sacados por el invernadero

tiempo_anterior = tiempo_actual; //Se actualiza el tiempo
pulsos_contador1 = 0; // Reinicia el contador de pulsos del caudalímetro 1
pulsos_contador2 = 0; // Reinicia el contador de pulsos del caudalímetro 2
sei(); //Se habilitan las interrupciones
}
}

```

10.4 Función void_setup ()

```

void setup()
{
    Serial.begin(9600); //Se inicia la comunicación serial a 9600 baudios

    //Funciones relacionadas con la pantalla Led
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();

    Riego.menu(0);

    for (uint8_t i = 0; i < 7; i++)

```

```

{
  pinMode(TRIG_PIN[i], OUTPUT); // Configura el pin TRIG como salida
  pinMode(ECHO_PIN[i], INPUT); // Configura el pin ECHO como entrada
}

//Funcion para iniciar los relees
Riego.ini_relay(RELAY_A_PIN, RELAY_B_PIN, RELAY_C_PIN);

//Inicializaciones de los actuadores
pinMode(BOTON, INPUT_PULLUP);
pinMode(BOTON_INICIO, INPUT_PULLUP);
pinMode(CAUDAL1, INPUT_PULLUP);
pinMode(CAUDAL2, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BOTON), ISR_2, FALLING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BOTON_INICIO), ISR_2, FALLING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(CAUDAL1), ISR_4, RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(CAUDAL2), ISR_5, RISING);

//Inicializacion del Timer 1
TCCR1A = 0;          // Configura el registro TCCR1A a 0
TCCR1B = 0;          // Configura el registro TCCR1B a 0
TCNT1 = 0;          // Inicializa el contador a 0

OCR1A = 31250;      // Configura el valor de comparación para 2 segundos (a 16 MHz, prescaler 1024)

// Configura el prescaler del temporizador y el modo de comparación
TCCR1B |= (1 << WGM12); // Modo CTC (Clear Timer on Compare Match)
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // Habilita la interrupción por coincidencia de comparación

while(contador < 7)
{
  medicion = Riego.lectura_HCSR04(TRIG_PIN[contador], ECHO_PIN[contador], contador);
  comprobacion = Riego.comprobar_valor(medicion, contador);
  if(comprobacion == true)
  {
    contador++;
  }
}
contador = 0;
}

```

10.5 Función void_loop ()

```

void loop()
{
  int valor_potenciometro = 0;

```

```

uint8_t modo_operacion = 0;

if(estado_puls_inicio == true)
{
    if(inicio == true)
    {
        valor_potenciometro = Riego.lectura_potenciometro(POT);
        inicio = Riego.gestionar_lecturas(valor_potenciometro, &estado_puls);
    }
    else
    {
        preparacion = true;
    }

    if (preparacion == true)
    {
        modo_operacion = Riego.tomar_decision();
        mezclado = Riego.preparar_riego(&modo_operacion, RELAY_A_PIN, RELAY_B_PIN, TRIG_PIN,
ECHO_PIN);
        preparacion = Riego.mezclado_comprobacion(&mezclado,RELAY_B_PIN, RELAY_C_PIN);
    }
    else
    {
        regando = true;
    }

    if(regando == true)
    {
        control_caudal();
        regando = Riego.Riego_final(RELAY_A_PIN, RELAY_B_PIN, RELAY_C_PIN, caudal1, caudal2,
&liberando_solucion);
    }
    else

```

```

    {
        estado_puls_inicio = false;
    }
}
else
{
    Riego.invernadero(LDR, RELAY_B_PIN); //Estado del invernadero
}
}

```

10.6 Clase diseñada y librerías adicionales

```

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#include <avr/wdt.h>
#include <DHT.h>

// Dependiendo del tipo de sensor
#define DHTTYPE DHT11

// Inicializamos el sensor DHT11
DHT dht(60, DHTTYPE);

class Sistema
{
private:

    uint32_t deposito_capacidad[7];
    uint32_t parametros_elegidos[5];
    uint32_t parametros_estudio[5]={ 15502,6066,4281,2824,2184};
    uint32_t cantidad_fertilizante;
    uint32_t litros_riego;
    uint8_t num_riegos;
    String modo_selec;
    char tamanyo_deposito[7]='s','s','s','s','l','m','m';
    int temperatura_solucion, ce_solucion, ph_solucion, ce_lixiviados;

public:

    volatile uint8_t segundos;
    volatile uint8_t minutos;
    volatile uint8_t horas;
    volatile unsigned long litros_entrada_totales;
    volatile unsigned long litros_salida_totales;

```

```

Sistema(uint32_t, uint32_t, int, int, int, int, uint8_t, uint8_t, uint8_t, unsigned long, unsigned long);

void set_valor(uint8_t, uint32_t);

uint16_t lectura_HCSR04(int, int, uint8_t);

bool comprobar_valor(uint16_t, uint8_t);

void avisos_tratamientos_error(uint8_t, uint8_t);

void menu(uint8_t);

void reset();

int lectura_potenciometro(int);

bool gestionar_lecturas(int, bool*);

uint8_t tomar_decision();

bool preparar_riego(uint8_t*, int[], int[], int[], int[]);

void ini_relay(int[], int[], int[]);

bool mezclado_comprobacion(bool*, int[], int[]);

int parametros_solucion(int, String);

void motivos_no_riego();

bool Riego_final(int[], int[], int[], unsigned long, unsigned long, bool *);

void invernadero(int, int[]);
};

```

10.7 Constructor

```

Sistema::Sistema(uint32_t _deposito_capacidad, uint32_t _cantidad_fertilizante, int _temperatura_solucion,
int _ce_solucion, int _ph_solucion, int _ce_lixiviados, uint8_t _segundos, uint8_t _minutos, uint8_t _horas,
unsigned long _litros_entrada_totales, unsigned long _litros_salida_totales)
{
// Comenzamos el sensor DHT
dht.begin();

for (uint8_t _contador = 0; _contador < 7; _contador++)
{

```

```
    deposito_capacidad[_contador] = _deposito_capacidad;
}
```

```
cantidad_fertilizante = _cantidad_fertilizante;
temperatura_solucion = _temperatura_solucion;
ce_solucion = _ce_solucion;
ph_solucion = _ph_solucion;
ce_lixiviados = _ce_lixiviados;
```

```
segundos = _segundos;
minutos = _minutos;
horas = _horas;
litros_entrada_totales = _litros_entrada_totales;
litros_salida_totales = _litros_salida_totales;
}
```

10.8 Función set_valor ()

```
void Sistema::set_valor(uint8_t _tanque, uint32_t _decisionlitros)
{
    lcd.clear();
    if(_tanque < 4)
    {
        lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print("Tank");
        lcd.print(_tanque+1);
        lcd.print(": ");
        lcd.print(deposito_capacidad[_tanque]);
        lcd.setCursor(13, 0); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print(" mL");

        lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print("Value: ");
        lcd.print(_decisionlitros);
        lcd.setCursor(13, 1); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print(" mL");
    }
    else
    {
        lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print("Tank");
        lcd.print(_tanque+1);
        lcd.print(": ");
        lcd.print(2900-cantidad_fertilizante);
        lcd.setCursor(13, 0); // Volver a la posición inicial del curso
        lcd.print("L");

        lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del curso
```

```

    lcd.print("Value: ");
    lcd.print(_decisionlitros);
    lcd.setCursor(13, 1); // Volver a la posición inicial del curso
    lcd.print("L");
}

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
}

```

10.9 Función lectura_HCSR04 ()

```

uint16_t Sistema::lectura_HCSR04(int T_P, int E_P, uint8_t _colocar)
{
    uint16_t duracion_pulso, distancia;

    // Genera un pulso de 10 microsegundos en el pin TRIG
    digitalWrite(T_P, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(T_P, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(T_P, LOW);

    // Lee la duración del pulso en el pin ECHO
    duracion_pulso = pulseIn(E_P, HIGH);
    //Calculo de la capacidad
    distancia = duracion_pulso / 6;

    if(tamanyo_deposito[_colocar] == 's')
    {
        deposito_capacidad[_colocar] = ((450 - distancia) * (10000/225));
    }
    else if (tamanyo_deposito[_colocar] == 'm')
    {
        deposito_capacidad[_colocar] = ((1850 - distancia) * (1500/925));
    }
    else if (tamanyo_deposito[_colocar] == 'l')
    {
        deposito_capacidad[_colocar] = ((2960 - distancia) * (5000/1480));
    }

    delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición

    return deposito_capacidad[_colocar];
}

```

10.10 Comprobar_valor ()

```

bool Sistema::comprobar_valor(uint16_t _cantidad, uint8_t _tamanyo)
{
    bool resultado = false;
    static uint8_t n_errores = 0;

    switch(tamanyo_deposito[_tamanyo])
    {
        case 's':
            if(_cantidad > 20000)
            {
                resultado = false;
                n_errores++;
            }
            else if (_cantidad < 2000)
            {
                resultado = true;
                n_errores = 0;
                avisos_tratamientos_error(1, _tamanyo);
            }
            else
            {
                resultado = true;
                n_errores = 0;
            }
            break;

        case 'm':
            if(_cantidad > 3000)
            {
                resultado = false;
                n_errores++;
            }
            else
            {
                resultado = true;
                n_errores = 0;
            }
            break;

        case 'l':
            if(_cantidad > 10000)
            {
                resultado = false;
                n_errores++;
            }
            else if(_cantidad < 3000)
            {
                avisos_tratamientos_error(2, _tamanyo);
            }
    }
}

```

```

    resultado = true;
    n_errores = 0;
}
else
{
    resultado = true;
    n_errores = 0;
}
break;

default:

break;
}

if(n_errores > 3)
{
    avisos_tratamientos_error(0, _tamanyo);
    n_errores = 0;
}

return resultado;
}

```

10.11 avisos_tratamientos_error ()

```

void Sistema::avisos_tratamientos_error(uint8_t _tipo_error, uint8_t _motivo_error)
{
    String tanque;

    switch(_tipo_error)
    {
        case 0:
            lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
            lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
            lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
            lcd.print("Sys Err US");
            lcd.print(_motivo_error+1);
            lcd.print(" :");

            lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
            lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
            lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
            lcd.print("Lectura erronea");

            delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición

```

```

break;

case 1:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Deposito ");
    lcd.print(_motivo_error+1);
    lcd.print(" :");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Menos del 10%");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 2:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Deposito ");
    lcd.print(_motivo_error+1);
    lcd.print(" :");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Agua insuficiente");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 3:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Err Tank ");
    lcd.print(_motivo_error+1);
    lcd.print(" :");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Insuff. Qty.");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición

```

```

break;

case 4:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Tank Lvl Error");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Check Sensors");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 5:
    switch(_motivo_error)
    {
        case 0:
            tanque = "N03 & Micronutrients";
            break;

        case 1:
            tanque = "K2SO4 & PO4 -Sulfate";
            break;

        case 2:
            tanque = "Acid";
            break;

        case 3:
            tanque = "MgSO4 -Sulfate";
            break;

        case 4:
            tanque = "Rainwater Tank";
            break;

        case 5:
            tanque = "Treatment Tank";
            break;

        case 6:
            tanque = "Mixer Tank";
            break;

        default:

```

```

    break;
}

lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Emptying Tank:");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print(tanque);

delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 6:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("No amounts set");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("Returning back");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
    break;

case 7:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("The Rainwater Tank");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
    lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
    lcd.print("is filling");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
    break;

case 8:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)

```

```
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Preparing");
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("The solution");
```

```
delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;
```

case 9:

```
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Water unsafe!");
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Drain tank now");
```

```
delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;
```

case 10:

```
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Suboptimal cond.");
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Irrigation OK.");
```

```
delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;
```

case 11:

```
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Potential issues");
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
```

```

    lcd.print("with flow rate");

    delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
    break;

default:

    break;
}
}

```

10.12 lectura_potenciometro ()

```

int Sistema::lectura_potenciometro(int _pin)
{
    int valor = 0, cuenta = 0;

    for (int i = 0; i < 10; i++)
    {
        valor = analogRead(_pin);
        cuenta = valor + cuenta;
    }

    cuenta = cuenta/10;
    return cuenta;
}

```

10.13 menu ()

```

void Sistema::menu(uint8_t _pantalla)
{
    lcd.clear();
    switch(_pantalla)
    {
        case 0:

            lcd.setCursor(1, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
            lcd.print("Welcome User");

            lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
            lcd.print("Loading, wait...");

            delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
            break;

        case 1:

```

```

lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Mode Selector:");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("->Pre  Pers");

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 2:
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Mode Selector:");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print(" Pre ->Pers");

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 3:
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Selec Mode:");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Predeterminado");

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 4:
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Selec Mode:");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Personalizado");

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

case 5:
lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Cantidades");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("Establecidas");

delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
break;

```

```

case 6:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("Num de riegos:");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print(num_riegos);
    lcd.print(" Al día");

    delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
    break;

case 7:
    lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("Num de riegos");

    lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
    lcd.print("Establecidos");

    delay(1000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
    break;

default:

    break;
}
}

```

10.14 gestionar_lecturas ()

```

bool Sistema::gestionar_lecturas(int _potenciometro, bool *_pulsado)
{
    static int _potenciometro_anterior = 0;
    bool finalizar = true;
    static uint8_t contador = 0, mensaje = 0, _pulsaciones = 0;
    static uint32_t calculo = 0;

    switch(_pulsaciones)
    {
        case 0:
            if(*_pulsado == false)
            {
                if(_potenciometro < _potenciometro_anterior)
                {
                    mensaje = 1;
                }
                else if(_potenciometro > _potenciometro_anterior)

```

```

    {
        mensaje = 2;
    }
    _potenciometro_anterior = _potenciometro;
}
else
{
    *_pulsado = false;
    _potenciometro_anterior = 0;
    _pulsaciones++;

    if(mensaje == 1)
    {
        modo_selec = "Predeterminado";
        mensaje = 3;
    }
    else
    {
        modo_selec = "Personalizado";
        mensaje = 4;
    }
}
}
menu(mensaje);
break;

case 1:
    if(modo_selec == "Personalizado")
    {
        if(*_pulsado == false)
        {
            if(contador < 4)
            {
                calculo = map(_potenciometro, 0, 1022, 0, 20000);
                mensaje = 0;
            }
            else
            {
                calculo = map(_potenciometro, 0, 1022, 0, 10000);
                mensaje = 1;
            }
            set_valor(contador, calculo);
        }
        else
        {
            *_pulsado = false;
            if((deposito_capacidad[contador] >= calculo) && (contador < 4))
            {
                parametros_elegidos[contador] = calculo;
            }
        }
    }
}

```

```

    cantidad_fertilizante = cantidad_fertilizante + calculo;
    calculo = 0;
    contador++;
}
else if(contador == 4)
{
    menu(5);
    _pulsaciones++;
}
else
{
    avisos_tratamientos_error(3, contador);
}
}
}
else
{
    for(int i=0; i < 5; i++)
    {
        parametros_elegidos[i] = parametros_estudio[i];
    }
    menu(5);
    _pulsaciones++;
}

break;

case 2:
if(*_pulsado == false)
{
    num_riegos = map(_potenciometro, 0, 1022, 1, 12);

    menu(6);
}
else
{
    menu(7);
    finalizar = false;
}
break;

default:

break;
}

return finalizar;
}

```

10.15 tomar_decisiones ()

```
uint8_t Sistema::tomar_decision()
{
    uint8_t caso = 0;
    uint32_t solucion = 0;

    solucion = (cantidad_fertilizante/1000) + parametros_elegidos[4]; //Se calcula la cantidad de solucion del
    riego

    if((solucion > 2900) || (solucion < 0)) //El total ha superado la cantidad maxima permitida por el deposito de
    mezcla
    {
        caso = 0;
    }
    else if((solucion > 0) && (solucion <= 2900)) //El total es una cantidad permitida por el deposito de mezcla
    {
        caso = 1;
    }
    else if(solucion == 0) //El total es un valor nulo y se devuelve al paso anterior
    {
        caso = 2;
    }

    return caso;
}
```

10.16 ini_relay ()

```
void Sistema::ini_relay(int array_relayA[], int array_relayB[], int array_relayC[])
{
    for (uint8_t j = 0; j < 8; j++)
    {
        pinMode(array_relayA[j], OUTPUT); //Configura como salida
        pinMode(array_relayB[j], OUTPUT); //Configura como salida
        digitalWrite(array_relayA[j], LOW); //Se mantienen apagados
        digitalWrite(array_relayB[j], LOW); //Se mantienen apagados
        if(j < 4)
        {
            pinMode(array_relayC[j], OUTPUT); //Configura como salida
        }
    }

    digitalWrite(array_relayC[0], HIGH); //Se mantiene abierta la válvula de 3 vias direccion MEZCLA-
    MEZCLA
    digitalWrite(array_relayC[1], LOW);
```

```

digitalWrite(array_relayC[2], HIGH); //Se mantiene abierta la válvula de 3 vias direccion PLUVIAL-
TRATAMIENTO
digitalWrite(array_relayC[3], LOW);
}

```

10.17 reset ()

```

void Sistema::reset()
{
    wdt_enable(WDTO_15MS);
    while(1);
}

```

10.18 preparar_riego ()

```

bool Sistema::preparar_riego(uint8_t *tipo_preparacion, int _relayCHA[], int _relayCHB[], int _trigger[], int
_echo[])
{
    static uint32_t extraer = 0, pluvial = 0;
    static uint8_t contador_depositos = 0, caso = 0;
    bool inicio_tratamiento = true;
    static bool vaciado = false;

    if(caso == 3)
    {
        *tipo_preparacion = caso;
    }

    switch(*tipo_preparacion)
    {
        case 0:
            avisos_tratamientos_error(4,0); //Se avisa al usuario que ha ocurrido un error
            //reiniciar el micro
            break;

        case 1:
            if((cantidad_fertilizante/1000) != 0)
            {
                if(contador_depositos < 4)
                {
                    extraer = lectura_HCSR04(_trigger[contador_depositos], _echo[contador_depositos],
contador_depositos); //Se almacena el valor del deposito de fertilizante escogido
                    if(extraer > parametros_elegidos[contador_depositos]) //Se comprueba que la cantidad del deposito
sea igual al valor personalizado/predeterminado
                    {
                        digitalWrite(_relayCHA[contador_depositos], HIGH); //Se abre la valvula

```

```

    avisos_tratamientos_error(5,contador_depositos); //Se avisa al usuario que la solucion es solo de
agua
}
else
{
    digitalWrite(_relayCHA[contador_depositos], LOW); //Se cierra la valvula
    contador_depositos++; //Se cambia de deposito
}
}
else
{
    cantidad_fertilizante = 0; //Se han vaciado los depósitos de fertilizantes
}
}
else
{
    contador_depositos = 4;
    pluvial = lectura_HCSR04(_trigger[contador_depositos], _echo[contador_depositos],
contador_depositos); //Se almacena el valor del deposito pluvial
    extraer = lectura_HCSR04(_trigger[contador_depositos+1], _echo[contador_depositos+1],
contador_depositos+1); //Se almacena el valor del deposito de tratamiento

    if((extraer < parametros_elegidos[4]) && (vaciado == false)) //Si el deposito de tratamiento tiene menos
cantidad que la deseada por el usuario y no se ha vaciado nunca
    {
        if(pluvial < parametros_elegidos[4]) //Si el deposito pluvial tiene menos cantidad que la deseada por el
usuario
        {
            avisos_tratamientos_error(7,0); //Se avisa al usuario que se llena
            digitalWrite(_relayCHA[4], HIGH); //Se mantiene abierta la valvula del agua corriente
        }
        else
        {
            avisos_tratamientos_error(5,4); //Se avisa al usuario que se vacia
            digitalWrite(_relayCHB[3], HIGH); //Se enciende el tratamiento por ultravioleta
            digitalWrite(_relayCHA[4], LOW); //Se mantiene abierta la valvula del agua corriente
            digitalWrite(_relayCHA[5], HIGH); //Se mantiene abierta la valvula de salida del deposito pluvial
        }
    }
    else if (extraer > parametros_elegidos[4])
    {
        avisos_tratamientos_error(5,6); //Se avisa al usuario
        digitalWrite(_relayCHB[3], LOW); //Se apaga el tratamiento por ultravioleta
        digitalWrite(_relayCHA[5], LOW); //Se cierra la valvula de salida del deposito pluvial
        digitalWrite(_relayCHA[6], LOW); //Se mantiene abierta la valvula hacia el tanque de mezcla
        digitalWrite(_relayCHA[7], HIGH); //Se mantiene abierta la valvula hacia el tanque de mezcla
        vaciado = true; //Bandera Up
    }
}

```

```

else if((extraer < parametros_elegidos[4]) && (vaciado == true))
{
    digitalWrite(_relayCHA[6], LOW); //Se mantiene cerrada la valvula
    digitalWrite(_relayCHA[7], LOW); //Se mantiene cerrada la valvula
    contador_depositos = 0; //Se reinicia el contador
    extraer = 0; //Se reinicia la variable que almacena el liquido del desposito estudiado
    pluvial = 0; //Se reinicia la variable que almacena el liquido del desposito estudiado
    caso = 3; //Se emplea el caso 3
    vaciado = false; //Se reinicia la bandera
}
}
break;

case 2:
    avisos_tratamientos_error(6,0);
    reset();
break;

case 3:
    caso = 0;
    inicio_tratamiento = false;
    litros_riego = lectura_HCSR04(_trigger[6], _echo[6], 6); //Se almacenan los litros del riego
break;

default:

    break;
}

return inicio_tratamiento;
}

```

10.18 mezclado_comprobacion ()

```

bool Sistema::mezclado_comprobacion(bool *fin_mezclado, int _relayCHB[], int _relayCHC[])
{
    static bool inicio_riego = false;

    if(fin_mezclado == false)
    {
        avisos_tratamientos_error(8,0); //Se avisa del preparado de la solucion
        digitalWrite(_relayCHB[1], HIGH); //Se enciende la bomba hidraulica
        digitalWrite(_relayCHB[0], HIGH); //Se abre la valvula de MEZCLA
        digitalWrite(_relayCHB[2], HIGH); //Se abre la valvula direccion MEZCLA-MEZCLA
        digitalWrite(_relayCHB[3], LOW); //Se abre la valvula direccion MEZCLA-MEZCLA

        if(temperatura_solucion < 20)
        {

```

```

    digitalWrite(_relayCHB[2], HIGH); //Se enciende el calentador por inmersion
}
else if(temperatura_solucion > 22)
{
    digitalWrite(_relayCHB[2], LOW); //Se apaga el calentador por inmersion
}
else if (temperatura_solucion >= 20 && temperatura_solucion <= 22)
{
    digitalWrite(_relayCHB[2], LOW); //Se apaga el calentador por inmersion
}

if((temperatura_solucion >= 20 && temperatura_solucion <= 22) && (ph_solucion >= 6 && ph_solucion
<= 7) && (ce_solucion >= 1000 && ce_solucion <= 1800))
{
    *fin_mezclado = true; //Todos los parametros son correctos
    TCCR1B &= ~(1 << CS12) | (1 << CS11) | (1 << CS10); // Detiene el Timer 1
    digitalWrite(_relayCHB[3], HIGH); //Se abre la valvula direccion MEZCLA-INVERNADER
    digitalWrite(_relayCHB[2], LOW); //Se abre la valvula direccion MEZCLA-INVERNADERO
}
else
{
    TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10); // Inicia el Timer 1 con un prescaler de 1024
}

}
else
{
    inicio_riego = false;
}

return inicio_riego;
}

```

10.19 parametros_solucion ()

```

int Sistema::parametros_solucion(int pin_parametro, String sensor)
{
    int valor_sensor = 0, lectura_sensor = 0;

    lectura_sensor = analogRead(pin_parametro); //Se lee el pin analogico pertinente

    if(sensor == "tpta") //Extrapolar temperatura de la solucion
    {
        valor_sensor = map(lectura_sensor, 0, 1022, 0, 22);
        temperatura_solucion = valor_sensor;
    }
    else if(sensor == "CE") //Extrapolar conductividad electrica de la solucion

```

```

{
  valor_sensor = map(lectura_sensor, 0, 1022, 0, 1413);
  if(pin_parametro == A2)
  {
    ce_solucion = valor_sensor;
  }
  else
  {
    ce_lixiviados = valor_sensor;
  }
}
else if(sensor == "pH") //Extrapolar pH de la solucion
{
  valor_sensor = map(lectura_sensor, 0, 1022, 0, 14);
  ph_solucion = valor_sensor;
}

return valor_sensor;
}

```

10.20 motivos_no_riego ()

```

void Sistema::motivos_no_riego()
{

  if((temperatura_solucion <= 10) || (ce_solucion <= 800) || (ph_solucion >= 10) || (ph_solucion <= 3))
  //Casos más preocupantes
  {
    avisos_tratamientos_error(9,0); //Se avisa al usuario
    reset(); //Se resetea el programa
  }
  else
  {
    avisos_tratamientos_error(10,0); //Se avisa al usuario
  }
}

```

10.21 Riego_final ()

```

bool Sistema::Riego_final(int _relayA[], int _relayB[], int _relayC[], unsigned long Q_entrada, unsigned
long Q_salida, bool *estado_riego)
{
  static uint32_t litros_num_riego = 0, contador_riegos = 0;
  static bool con_riegos = true;

  litros_num_riego = litros_riego / num_riegos; //Se calculan los litros que deben salir en cada riego

```

```

if(litros_entrada_totales < litros_num_riego)//Si los litros sacados son menores a los que tienen que ser se
comprueba el caudal
{
    digitalWrite(_relayC[3], HIGH); //Se abre la válvula dirección MEZCLA-INVERNADERO
    digitalWrite(_relayC[2], LOW); //Se abre la válvula dirección MEZCLA-INVERNADERO
    if((abs(Q_entrada - 20) <= 5) == false) //Se mira si el caudal de la bomba es semejante al esperado por la
bomba hidráulica
    {
        avisos_tratamientos_error(11,0); //Se avisa al usuario
    }
}
else
{
    digitalWrite(_relayC[2], LOW); //Se cierra la válvula NC
    digitalWrite(_relayC[3], LOW); //Se cierra la válvula NC
    contador_riegos++; //Se ha terminado un riego y se contabiliza
    if((contador_riegos < num_riegos) && (estado_riego == false)) //Si no se han acabado el número de riegos
y se tiene que seguir regando se espera una hora hasta el próximo
    {
        TCNT1 = 0; // Inicializa el contador a 0
        segundos = 0; //Se reinicia el segundero
        minutos = 0; //Se reinicia el minuterio
        horas = 0; //Se reinician las horas
        *estado_riego = true; //Se está regando
        TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10); // Inicia el Timer 1 con un prescaler de 1024
    }
    else if (contador_riegos >= num_riegos)
    {
        TCNT1 = 0; // Inicializa el contador a 0
        TCCR1B &= ~(1 << CS12) | (1 << CS11) | (1 << CS10); // Detiene el Timer 1
        segundos = 0; //Se reinicia el segundero
        minutos = 0; //Se reinicia el minuterio
        horas = 0; //Se reinician las horas
    }
}

if(litros_salida_totales != 0)//Si se detectan los lixiviados
{
    digitalWrite(_relayC[2], LOW); //Se mantiene abierta la válvula de 3 vías dirección INVERNADERO-
TRATAMIENTO
    digitalWrite(_relayC[3], HIGH); //Se mantiene abierta la válvula de 3 vías dirección INVERNADERO-
TRATAMIENTO
    digitalWrite(_relayB[3], HIGH); //Se enciende el tratamiento ultravioleta
    if((abs(Q_salida - 20) <= 5) == false) //Se mira si el caudal de la bomba es semejante al esperado por la
bomba hidráulica
    {
        avisos_tratamientos_error(11,0); //Se avisa al usuario
    }
}

```

```

    }
}
else if((litros_salida_totales == 0) && (contador_riegos >= num_riegos)) //Se han realizado todos los riegos
y no se detectan litros en el canal del invernadero
{
    digitalWrite(_relayB[3], LOW); //Se enciende el tratamiento ultravioleta
    con_riegos = false; //Se acabo el proceso

    //Se reinicia todo para el proximo riego
    ini_relay(_relayA, _relayB, _relayC);
    segundos = 0;
    minutos = 0;
    horas = 0;
    litros_entrada_totales = 0;
    litros_salida_totales = 0;
    cantidad_fertilizante = 0;
    litros_riego = 0;
    num_riegos = 0;
    modo_selec = " ";
    temperatura_solucion = 0;
    ce_solucion = 0;
    ph_solucion = 0;
    ce_lixiviados = 0;

    for (int k = 0; k < 7; k++)
    {
        deposito_capacidad[k] = 0;
    }

    for (int l = 0; l < 5; l++)
    {
        parametros_elegidos[l] = 0;
    }

}

return con_riegos;
}

```

10.22 invernadero ()

```

void Sistema::invernadero(int LDR_PIN, int relay[])
{
    int valor_ldr = analogRead(LDR_PIN); //Lectura analógica del LDR

    if(valor_ldr <= 200) //Si hay poca luz
    {
        digitalWrite(relay[6], HIGH); //Se encienden las luces del invernadero
    }
}

```

```

}
else if(valor_ldr >= 800) //Suficiente luz
{
    digitalWrite(relay[6], LOW); //Se apagan las luces del invernadero
}

// Leemos la humedad relativa
int h = dht.readHumidity();
// Leemos la temperatura en grados centígrados (por defecto)
int t = dht.readTemperature();
// Leemos la temperatura en grados Fahrenheit
int f = dht.readTemperature(true);

lcd.setCursor(0, 0); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 0); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Humedad: ");
lcd.print(h);
lcd.print("% ");

lcd.setCursor(0, 1); // Posición del cursor en la primera línea
lcd.print("          "); // Limpiar la línea (16 espacios)
lcd.setCursor(0, 1); // Volver a la posición inicial del cursor
lcd.print("Temperatura: ");
lcd.print(t);
lcd.print(" °C");

if((t >= 30) || (h >= 80)) //Si la temperatura es mayor de 30 °C o la humedad de 80%
{
    digitalWrite(relay[7], HIGH); //Se encienden los ventiladores
}
else if((t < 30) && (h < 80))
{
    digitalWrite(relay[7], LOW); //Se encienden apagan los ventiladores
}

delay(2000); // Espera 1 segundo antes de la siguiente medición
}

```

10.22 Ajuste de la solución nutritiva

	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Cl	NH ₄	K	Ca	Mg	Na	pH	CE (µS/cm)
Solución nutritiva ideal mmol/L	4,3	2	1,7			0,7	2,2	2,4	1		6	1000
Agua de riego mmol/L	0,2		0,5	1,6			0,3	0,8	0,2		7,9	1386
Aportes	4,1	2	1,2	-1,6		0,7	1,9	1,6	0,8		-1,9	-386
Nitrato de calcio Ca(NO ₃) ₂	1,6					0,2688		1,6				
Acido fosfórico H ₃ PO ₄		1,6		1,6								
Nitrato de magnesio Mg(NO ₃) ₂	0,45								0,45			
Fosfato monopotásico KH ₂ PO ₄	0,4	0,4					0,4					
Sulfato de potasio K ₂ SO ₄	0,75		0,75				1,5					
Sulfato de magnesio MgSO ₄	0,35		0,35						0,35			
Aportes reales mmol/L	4,1	2	1,1	-1,6		0,2688	1,9	1,6	0,8			
Aportes reales meq/L	4,1	2	2,2	-1,6		0,2688	1,9	3,2	1,6			
Aportes reales ppm	254,2	194	105,6	-97,6		4,8384	74,1	64	38,88			
Aporte final mmol/L	4,3	2	1,6	0		0,2688	2,2	2,4	1			
Ajuste												

Microelementos	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
p.p.m	5	2	0,07	0,25	0,7	0,05