



**Universidad**  
Zaragoza

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

**MEMORIA**

Implementación de invernadero con sistema de control y monitoreo inalámbricos

424.16.9

Autor: Ruosbelt Rodrigo Barraqueta Livizaca

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Diciembre 2016



## INDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. RESUMEN	1
1.2. ABSTRACT	2
1.3. INTRODUCCIÓN	3
1.4. ANTECEDENTES	6
1.5. DEFINICIONES	13
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>16</b>
2.1. INVERNADEROS	16
2.1.1. <i>Historia del invernadero</i>	18
2.1.2. <i>Tipos de invernaderos</i>	20
2.1.3. <i>Materiales constructivos para estructura, cubierta y tipos de mallas</i>	28
2.1.4. <i>Variables a controlar en un invernadero</i>	32
2.1.5. <i>Equipamiento para invernaderos</i>	35
2.1.5.1. Ventilación y circulación de aire	35
2.1.5.1.1. Ventilación natural	37
2.1.5.1.2. Ventilación forzada	38
2.1.5.2. Variadores de Humedad	41
2.1.5.2.1. Pantallas térmicas	41
2.1.5.2.2. Humidificadores (Fog System)	43
2.1.5.2.3. Pared húmeda (Cooling)	44
2.1.5.2.4. Microaspersor	46
2.1.5.2.5. Hidrofán	47
2.1.5.3. Sistemas de calefacción	48
2.1.5.3.1. Sistemas de calefacción de tipo convectivo	48
2.1.5.3.2. Sistemas de calefacción por conducción	51
2.1.5.3.3. Sistemas de calefacción por radiación	52
2.1.5.4. Iluminación	54
2.1.6. <i>Medidas a tener en cuenta en el diseño estructural</i>	58
2.1.7. <i>Medidas para evitar problemática de la humedad</i>	61
2.1.8. <i>Recomendaciones en la ventilación natural</i>	63
2.1.9. <i>Recomendaciones en la ventilación forzada</i>	64

**424.16.9**

**INDICES**

2.1.10.	<i>Recomendaciones para mejorar la eficiencia en la iluminación</i>	66
2.2.	¿POR QUÉ ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO?	66
2.2.1.	<i>Elementos de un sistema de control automático</i>	67
2.2.2.	<i>Controladores automáticos</i>	70
2.2.1.	<i>Sensores y actuadores</i>	77
2.3.	OPEN SOURCE	81
2.3.1.	<i>Aportaciones del Open Source</i>	84
2.4.	IOT (INTERNET DE LAS COSAS)	87
2.4.1.	<i>IoT en la agricultura</i>	89
2.5.	COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	92
2.5.1.	<i>Redes personales inalámbricas (WPAN)</i>	92
2.5.2.	<i>Redes locales inalámbricas (WLAN)</i>	98
2.5.3.	<i>Redes de gran alcance (WWAN)</i>	102
2.5.4.	<i>Comparación de protocolos de comunicación inalámbricos</i>	104
2.6.	SERVIDOR WEB	107
2.7.	NORMATIVA	108
<b>3.</b>	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL</b>	<b>110</b>
3.1.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA	110
3.2.	ANÁLISIS CLIMÁTICO	112
3.3.	TIPOS DE SUELO	114
3.4.	DISEÑO DEL INVERNADERO	114
3.4.1.	<i>Tipo de invernadero y su orientación</i>	114
3.4.2.	<i>Material de Cubierta</i>	121
3.4.3.	<i>Malla anti-insectos</i>	123
3.4.1.	<i>Pantallas térmicas</i>	126
3.4.2.	<i>Ventilación</i>	128
3.4.3.	<i>Humedad</i>	130
3.4.4.	<i>Malla cubresuelo</i>	135
3.4.1.	<i>Grado de utilización del invernadero</i>	136
3.4.2.	<i>Forma y orientación de cultivo</i>	136
<b>4.</b>	<b>DISEÑO ELECTRÓNICO</b>	<b>138</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN	138

4.1.1.	<i>Características del ESP8266</i>	138
4.1.2.	<i>DeepSleep</i>	143
4.1.3.	<i>Localización del módulo</i>	145
4.2.	MÓDULO DE SENSORES	146
4.2.1.	<i>Sensor de humedad y temperatura (DHT 22 o AM2302)</i>	146
4.2.2.	<i>Sensor de luminosidad (Fotoresistencia LDR)</i>	149
4.2.3.	<i>Sensor de humedad de suelo</i>	151
4.2.4.	<i>Sensor de lluvia</i>	152
4.2.5.	<i>Módulo RTC</i>	154
4.3.	MÓDULO DE ACTUADORES	158
4.3.1.	<i>Previsión del tiempo</i>	158
4.3.2.	<i>Medición de batería módulo actuación</i>	159
4.3.3.	<i>Envío de correos</i>	160
4.3.4.	<i>Comprobación de funcionamiento del módulo</i>	162
4.4.	FUENTES DE ALIMENTACIÓN	163
4.4.1.	<i>Fuente de alimentación de placa de sensores</i>	163
4.4.2.	<i>Fuente de alimentación placa de los actuadores</i>	166
4.5.	COMUNICACIONES	168
4.5.1.	<i>Comunicación entre módulo sensores y base de datos-página web</i>	168
4.5.1.1.	<i>Configuración de red WIFI (aplicación .apk)</i>	168
4.5.1.2.	<i>Información y configuración de base de datos</i>	174
4.5.1.3.	<i>Envío de datos desde módulo de sensores</i>	175
4.5.1.4.	<i>Recepción de valores enviados desde módulo</i>	176
4.5.2.	<i>Comunicación entre módulo sensores y modulo actuador</i>	178
4.6.	ESQUEMA DEL PROTOTIPO	181
4.6.1.	<i>Modulo sensores</i>	181
4.6.2.	<i>Módulo actuadores</i>	182
4.6.3.	<i>Fotos de los prototipos</i>	183
4.7.	ESTRATEGIA DE CONTROL	184
4.7.1.	<i>Interfaces de control</i>	188
4.7.2.	<i>Diagramas UML</i>	190
4.7.2.1.	<i>Diagramas de actividad</i>	190
4.7.2.2.	<i>Casos de uso</i>	192
5.	CONCLUSIONES	193

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Crecimiento de la población mundial.....	4
Ilustración 2. Internet de las cosas .....	5
Ilustración 3. Ruta de enlace sistemas 6LowPAN.....	7
Ilustración 4. Sistema ZigBee.....	8
Ilustración 5. Duración batería con LPL.....	8
Ilustración 6. Sistema de monitorización Plant link.....	9
Ilustración 7. Modo de trabajo de Bitponics.....	10
Ilustración 8. Pasos del sistema.....	11
Ilustración 9. Componentes del sistema .....	12
Ilustración 10. Funciones vitales de las plantas. ....	17
Ilustración 11. Invernadero en el pasado. ....	19
Ilustración 12. Distribución de la superficie de invernadero por provincias .....	22
Ilustración 13. Invernaderos en Almería: "Mar de plástico" .....	23
Ilustración 14. Invernadero tipo Parral .....	23
Ilustración 15. Invernadero tipo Raspa. ....	24
Ilustración 16. Invernadero tipo Asimétrico o Inacral. ....	25
Ilustración 17. Invernadero tipo capilla de "una" y "dos aguas". ....	26
Ilustración 18. Invernadero tipo doble Capilla.....	26
Ilustración 19. Invernadero tipo Túnel.....	27

Ilustración 20. Esquema de distintos elementos de una estructura de líneas rectas, a dos aguas. ....	28
Ilustración 21. Caracterización geométrica de las mallas anti-insectos. ....	31
Ilustración 22. Equipamiento en invernaderos. ....	35
Ilustración 23. Estimación del volumen de aire renovado por hora (Z). ....	36
Ilustración 24. Cremallera. ....	37
Ilustración 25. Invernadero con ventilación natural. ....	38
Ilustración 26. Ventilación forzada. ....	39
Ilustración 27. Ventilador/extractor. ....	40
Ilustración 28. Ventajas de usar pantallas térmicas. ....	42
Ilustración 29. Colocación de pantallas térmicas en invernadero túnel. Motorización. ....	43
Ilustración 30. Humidificadores. ....	43
Ilustración 31. Boquilla. ....	44
Ilustración 32. Esquema "Cooling System". ....	45
Ilustración 33. Componentes "Cooling". ....	45
Ilustración 34. Panel poroso. ....	46
Ilustración 35. Microaspersores. ....	47
Ilustración 36. Sistemas hidrofán. ....	47
Ilustración 37. Generador de aire caliente. ....	49
Ilustración 38. Caldera central. ....	49
Ilustración 39. Tubos de calefacción bajo suelo. ....	52
Ilustración 40. Distribución por tubo/riel. ....	53
Ilustración 41. Tubo/riel en cultivo en masetas. ....	53
Ilustración 42. Formas de clorofila. ....	54
Ilustración 43. Lámpara de alta presión de sodio. ....	56

INDICES

Ilustración 44. Luz LED.....	56
Ilustración 45. Orientación recomendada según el clima.....	58
Ilustración 46. Separación entre invernaderos $b = 1.5-2$ m.....	59
Ilustración 47. Cubierta de doble pared inflada con aire a presión.....	60
Ilustración 48. Diferentes sistemas de ventilación natural.....	63
Ilustración 49. Ejemplo de ventilación forzada para invernadero tipo túnel y cubierta simple.....	65
Ilustración 50. Elementos que conforman el sistema de control.....	67
Ilustración 51. Control ON-OFF.....	69
Ilustración 52. Arquitectura Harvard.....	74
Ilustración 53. Anemómetro de molinete.....	80
Ilustración 54. Logo Open Source.....	81
Ilustración 55. Logo Mozilla Firefox.....	84
Ilustración 56. Logo FileZilla.....	84
Ilustración 57. Logo Android.....	85
Ilustración 58. Logo Arduino.....	85
Ilustración 59. Logo Open Source Hardware.....	86
Ilustración 60. Logo Kicad.....	87
Ilustración 61. IoT, campos de aplicación.....	89
Ilustración 62. Tasa de crecimiento anual por continentes.....	90
Ilustración 63. Diagrama de Comunicaciones inalámbricas.....	92
Ilustración 64. Logo Bluetooth.....	93
Ilustración 65. Logo DECT.....	94
Ilustración 66. Logo IrDa.....	95
Ilustración 67. Desviación máxima IrDa.....	95
Ilustración 68. Logo NFC.....	96

Ilustración 69. Logo ZigBee.....	97
Ilustración 70. Módulo ZigBee. ....	97
Ilustración 71. Tipos de redes. ....	99
Ilustración 72. Logo IEEE 802.11.....	101
Ilustración 73. Radioenlace. ....	103
Ilustración 74. Satélite. ....	103
Ilustración 75. Evolución de las tecnologías MWWAN.....	104
Ilustración 76. Velocidad transmisión – rango. ....	107
Ilustración 77. Normas para consulta. ....	109
Ilustración 78. Situación geográfica El Tablón.....	111
Ilustración 79. Vulnerabilidades y riesgos naturales (0-12). ....	111
Ilustración 80. Posición del sol en ambos hemisferios. ....	115
Ilustración 81. Posición del sol zona ecuatorial. ....	116
Ilustración 82. Estructura invernadero raspa y amagado.....	119
Ilustración 83. Pilares.....	119
Ilustración 84. Lugar de colocación de canales. ....	120
Ilustración 85. Canales.....	120
Ilustración 86. Policarbonato celular.....	121
Ilustración 87. Propiedades térmicas de materiales de cubierta. ....	122
Ilustración 88. Efecto de la porosidad sobre la ventilación.....	125
Ilustración 89. Malla Mesh. ....	125
Ilustración 90. Propiedades de diferentes tipos de pantallas.....	127
Ilustración 91. AUPP 20.....	127
Ilustración 92. Cambio de tasa de ventilación normalizada ( $N_{sw}/N_w$ ) y de la diferencia de temperatura ( $T_{sw}/T_w$ ) .....	129
Ilustración 93. Bomba nebulización.....	134

---

**424.16.9**

INDICES

Ilustración 94. Boquilla nebulización. ....	134
Ilustración 95. Electroválvula PN100. ....	135
Ilustración 96. Malla cubresuelo. ....	135
Ilustración 97. Método de cultivo. ....	137
Ilustración 98. Esquema electrónico interno ESP8266-12.....	139
Ilustración 99. (Izq.)Pinout ESP8266-12 (Drcha.)Pinout ESP8266-1 .....	139
Ilustración 100. Pinout NodeMCU.....	140
Ilustración 101. Conexión ESP8266-12 para actualizar firmware.....	141
Ilustración 102. Proceso de actualización.....	142
Ilustración 103. Tipos de Sleep.....	144
Ilustración 104. Conexionado deepSleep ESP8266-12. ....	144
Ilustración 105. Simulación de la distribución de temperatura. ....	145
Ilustración 106. Módulo DHT22.....	146
Ilustración 107. Comparación de sensores. ....	147
Ilustración 108. Conexión DHT22.....	148
Ilustración 109. LDR .....	149
Ilustración 110. Divisor de tensión, LDR como R1 (izq.) y como R2 (drch). ....	150
Ilustración 111. YL-69 y YL-38. ....	151
Ilustración 112. YL-83.....	152
Ilustración 113. Calibración manual. ....	154
Ilustración 114. Circuito RTC.....	155
Ilustración 115. Circuito medición de batería.....	160
Ilustración 116. Comprobación en prototipo. ....	162
Ilustración 117. Circuito alimentación módulo sensores. ....	165
Ilustración 118. Circuito alimentación módulo actuadores. ....	167
Ilustración 119. Conexión a internet sencilla. ....	168

Ilustración 120. Diseño de interface. ....	169
Ilustración 121. Software APP. ....	169
Ilustración 122. Página web respuesta ESP8266. ....	170
Ilustración 123. Programa principal.....	171
Ilustración 124. Funciones auxiliares. ....	173
Ilustración 125. Configuración mediante iPhone.....	173
Ilustración 126. Logo XAMPP.....	174
Ilustración 127. Estructura interna de la base de datos.....	174
Ilustración 128. Mediciones guardadas en la base de datos. ....	177
Ilustración 129. Foto módulo de sensores. ....	183
Ilustración 130. Foto módulo de actuadores. ....	183
Ilustración 131. Control de ventana y pantalla de sombreo en función de la temperatura. ....	185
Ilustración 132. Control de nebulización. ....	186
Ilustración 133. Página web. ....	188
Ilustración 134. APP Android.....	189
Ilustración 135. Wearable.....	194

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Valoración de las propiedades de los materiales de cubierta. ....	30
Tabla 2. . Efecto fisiológico de las longitudes de onda de radiación.....	55
Tabla 3. Comparación de controladores. ....	77
Tabla 4. Comparativa redes. ....	105
Tabla 5. Comparación principales sistemas inalámbricos. ....	106
Tabla 6. Condiciones climáticas anuales.....	113
Tabla 7. Tamaño máximo de los poros para exclusión de insectos.....	124
Tabla 8. Eficacia de diferentes tipos de mallas. ....	124
Tabla 9. Mallas según ISO 9044. ....	126
Tabla 10. Umbrales de HR para prevención de enfermedades correspondiente a 0.030 psi (0.020kPa) DPV.....	131
Tabla 11. Consumo de las toberas a 70 bares. ....	133

## **INDICE DE FÓRMULAS**

Fórmula 1. Factor velocidad. ....	36
Fórmula 2. Índice de Lang I. ....	114
Fórmula 3. Cálculo DPV. ....	131
Fórmula 4. Grado de utilización del invernadero. ....	136
Fórmula 5. Tensión de salida del divisor de tensión. ....	150

## **INDICE DE PROGRAMAS**

Programa 1. DeepSleep .....	145
Programa 2. Obtención de datos con DHT 22 .....	148
Programa 3. Obtención de datos de LDR.....	150
Programa 4. Obtención de datos con sensor de lluvia. ....	153
Programa 5. Configuración hora. ....	156
Programa 6. Librerías sincronización hora. ....	156
Programa 7. Sincronización hora. ....	157
Programa 8. Datos API y situación geográfica.....	158
Programa 9. Función previsión del tiempo WUNDERGROUND. ....	159
Programa 10. Enviar correos.....	161
Programa 11. Comprobación módulo.....	162
Programa 12. Envío de datos desde el módulo sensor. ....	175
Programa 13. Código recepción de valores.....	176
Programa 14. Conexión con base de datos (config.php).....	177
Programa 15. Para mostrar valor en página web.....	177
Programa 16. Envío de datos a servidor.....	180



# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. RESUMEN**

En el mercado actual existen muchos productos comerciales para la automatización de invernaderos. Dichas tecnologías son costosas y utilizadas para la obtención de productos agrícola a gran escala. No así, en pequeñas producciones o huertos familiares las cuales son construidas con bajo presupuesto. La mayoría de estas instalaciones no cuentan con el adecuado equipamiento, tanto a nivel estructural como de control y monitorización.

En este trabajo se presentará un invernadero para un clima templado, en el que se tendrán en cuenta cuestiones constructivas como el tipo y material de cubierta, dimensiones, etc., y cuestiones ambientales como el ángulo de incidencia y horas de sol, dirección y velocidad del viento... A partir de las condiciones que generan nuestras cuestiones constructivas se analizará las necesidades climáticas con el fin de elegir el adecuado mecanismo de climatización, lo cual puede incluir mallas anti-insectos, pantalla de sombreo, etc. Con este equipamiento nos aseguraremos de una exacta generación de microclima mediante el control de las variables propicias para el desarrollo del cultivo y obtener un producto de buena calidad.

Además se desarrollará una plataforma de monitoreo y control en tiempo real y de bajo coste basada en microcontroladores, como soporte de hardware. Se dispondrá de un módulo de captación de datos con tecnología inalámbrica provisto de una serie de sensores colocados de forma estratégica con el fin de que obtengan las condiciones interiores lo más fiable posible. A través de los sensores y una aplicación Web se podrán monitorear las distintas variables así como su evolución con el paso del tiempo con lo que nos permitirá preveer un futura actuación sobre la calefacción, ventilación, humidificación o riego.

También se dispondrá de un módulo de actuadores que recibirá las condiciones climáticas y las someterá a una serie de condiciones para establecer el sistema de actuación adecuado y en el momento adecuado. Incluso realizará las funciones de aviso en caso de recibir alguna variables crítica.

## Introducción

Los dispositivos inalámbricos incluirán una fuente de alimentación con sistema de respaldo con el fin de asegurarnos la alimentación continua del dispositivo, al que además se le ha implementado la función de bajo consumo.

**Palabras clave (5): Invernadero, ESP8266, control, monitorización, internet de las cosas.**

## 1.2. ABSTRACT

In the current market there are many commercial products for greenhouse automation. Such technologies are expensive and used to get a big scale products. But not in small productions or home gardens which are built on a low budget. Most of them haven't the adequate equipment, at structural level as control and monitoring.

This project presents a warm climate greenhouse, which will take into account constructive issues such as the type and material of cover, dimensions, etc., and environmental issues like angle of incidence and hours of sun, direction and speed of wind ... From the conditions that generate our constructive issues, climatic requirements will be analyzed in order to choose the appropriate mechanism of air conditioner, which include from fans, mosquito nets, shade screen, heating system, etc. With this equipment we will ensure an exact generation of microclimate by controlling the variables in order to get a good growing crop and a good quality product.

In addition, a real-time, low-cost monitoring and control platform based on micro-controllers, as hardware support. A data collection module with wireless technology will be equipped with sensors and strategically located in order to obtain the most reliable conditions. Through the sensors and a Web application, the different variables can be monitored as well as their evolution over time, allowing us to predict heating, ventilation, humidification or irrigation.

Wireless devices include power supply with backup system ensuring the continuous power of the device, which has also been implemented a low power function.

**Keywords (5): Greenhouse, ESP8266, control, monitoring, internet of things.**

## 1.3. INTRODUCCIÓN

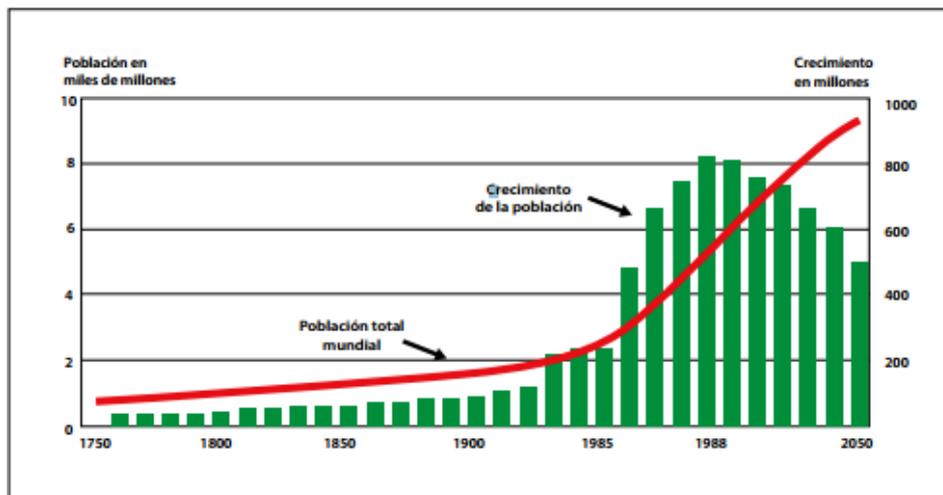
La rosa ha sido considerada como la reina de las flores y símbolo de belleza desde tiempos inmemorables. Su gran belleza ha estado presente no solo en los más recientes imperios, como Roma y Grecia, sino también en los más antiguos como los babilonios y sirios. En la actualidad, tanto especies como cultivares e híbridos se cultivan como ornamentales por la belleza y fragancia de su flor; pero también para la extracción de aceite esencial, utilizado en perfumería y cosmética, usos medicinales (fitoterapia) y gastronómicos.

La mayoría son originarias de Asia y un número nativas de Europa, Norteamérica y África noroccidental, sin embargo no son las regiones con mayor volumen de exportación de rosas. América Latina ha sabido sacarle partido a las condiciones climatológicas para mover más de mil millones de dólares. Este beneficio ha despertado el interés del mundo por producir rosas con fines de lucro, aún sin contar con las mejores condiciones climatológicas como es el caso de Holanda, el primer productor, contribuyendo con más de 1.7 millones de toneladas de flores, representando el 85% de los movimientos de la entera Unión Europea. Además del gran desarrollo de la ingeniería genética, gran capacidad de distribución, marketing y estrategia de reexportación, este pequeño país cuenta con **sistemas muy avanzados de automatización de cultivos**.

El cultivo de rosas es solo un ejemplo, pero ¿qué se puede decir de los productos alimenticios? Se puede comprobar que está sucediendo lo mismo. Con el gran aumento de la densidad demográfica mundial es necesario satisfacer con alimentos a una mayor cantidad de población. Sin embargo, no solo se busca aumentar la cantidad de producción y de una forma prematura sino también de una buena calidad, incluso cuando las condiciones medioambientales no son las más propicias.

**424.16.9**

Introducción



*Ilustración 1. Crecimiento de la población mundial.*

Ahora bien, para ser competitivos en cuanto a calidad y cantidad, muchos países latinoamericanos están viendo la necesidad de implementación de invernaderos con sistemas automatizados y dar el gran salto, pues ni siquiera en muchas regiones se considera como una actividad agropecuaria representativa. Si bien hay un escaso número de invernaderos, su uso se realiza sin conocimiento técnico.

Ya que vivimos en la era del internet y gracias al creciente florecimiento de compañías ofertantes, nos encaminamos a implementar el concepto de interconexión avanzada de dispositivos o **Internet de las cosas (IoT)** en contraposición del tradicional sistema M2M (máquina a máquina). A medida que el concepto de IoT se va haciendo más frecuente, se están diseñando sistemas para recopilar y analizar datos y dispositivos controlados a través de redes inalámbricas.

Otro concepto que está en auge y cuya base radica en el gran volumen de información que se dispone actualmente, es la **Agromática**. Este proyecto busca el manejo inteligente de la información que se va generando continuamente con el fin de conseguir una eficiente producción y comunicación apropiada teniendo el bien común en mira.

Otro punto importante es el costo y eficiencia de la producción. Se desea conseguir un sistema con reducido costo de implementación y que consuma los mínimos recursos indispensables, es decir, un uso optimizado del agua y electricidad. De esta forma se pretende obtener un producto de bajo costo pero con características óptimas para su consumo, las cuales son de obligatorio cumplimiento si se quiere competir con el mercado global.



*Ilustración 2. Internet de las cosas*

Conjugando las ideas mencionadas, se pretende desarrollar un sistema modular de reducido tamaño, parametrizable y de bajo costo para el control y monitorización de un invernadero, pues es la clave para tener un producto resistente, duradero y vistoso. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el siguiente proyecto tiene la siguiente estructura:

- **Introducción**
- **Antecedentes o estado de la cuestión**
- **Definiciones**
- **Marco teórico**
- **Desarrollo**
- **Resultados**
- **Conclusiones**

## 1.4. ANTECEDENTES

Como ya se ha mencionado, en Europa u otros países desarrollados, la automatización de invernaderos está en una etapa madura, e incluso se considera imprescindible, pues es de obligatorio cumplimiento por la adversidad del clima y necesidad de conseguir bienes de consumo de mejor calidad y durabilidad. Los métodos de automatización pretenden conseguir el control total de las distintas variables para la generación de un ambiente artificial o microclima para ofrecer las mejores condiciones de crecimiento y desarrollo de las flores.

Los distintos métodos de automatización están recogidos en una publicación realizada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ([www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es)).

- Interruptores y programadores horarios.
- Termostatos e higrostatos
- Autómatas programables o controladores similares
- Control por ordenadores

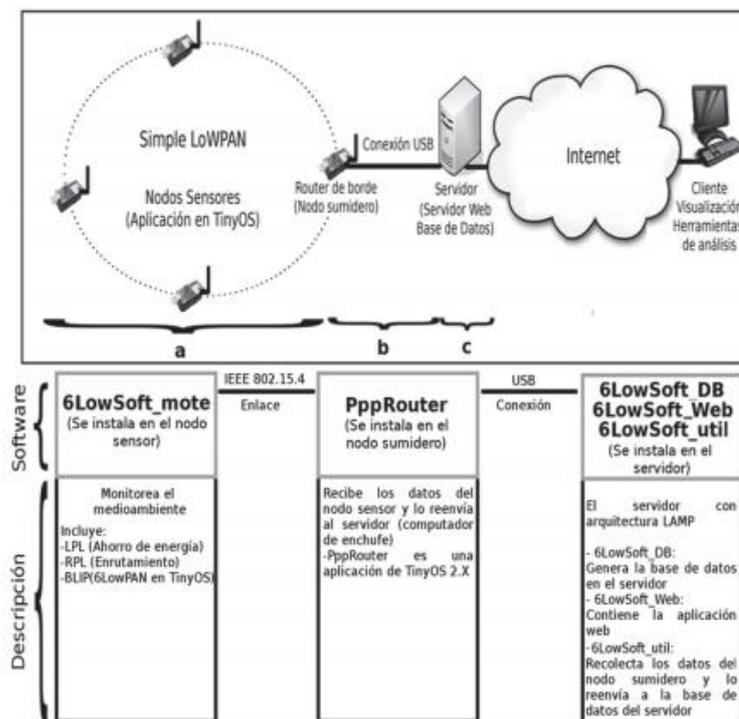
La mayoría de sistemas inalámbricos están orientados hacia sistemas artesanales (Acosta & Aguilar, 2015), y otros no tanto. Sin embargo en todos se busca tener sistemas modulares, parametrizable y de bajo coste. Algo destacable es la posibilidad de instalación y de adaptación a cualquier invernadero.

Todos los proyectos pretenden recopilar la información del medio que se encuentra en el invernadero con el fin de poder realizar un monitoreo y control eficaz; es decir, se centran en obtener la humedad ambiental y del suelo, temperatura, luminosidad, etc. En algunos casos hasta miden la fuerza y dirección del viento (no inalámbrico). (Lugo Espinosa, O., Villavicencio Pérez, G., & Díaz Luna, S. (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 77-84).

La mayoría de proyectos inalámbricos se basan en tipologías tipo WPAN. Encontramos diferentes protocolos como 6LoWPAN (Cama Pinto, Gil Montoya, Gómez López, García Cruz, & Manzano Agugliaro, 2014), ZigBee (Mendoza Mondragón, 2015) y mezcla de bluetooth con radiofrecuencia (Salazar, Fernández, & Capote, 2015). Este último

también hace uso de un sistema de comunicación con un sistema mucho más amplio (MWWAN) que los ya mencionados: GSM.

Ahora bien, al ser inalámbricos todos establecen una ruta de enlace entre los diferentes eslabones. En el proyecto en el que protocolo 6LoWPAN toma acción, llamado *Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero*, los nodos establecen rutas de enlace automáticamente para que pueda llegar la información (multi-salto, protocolo RPL) a un dispositivo embebido "Router de borde" que almacena la información en una base de datos a fin de visualizar de forma gráfica y en tiempo real para después enviar a un servidor web. En la siguiente imagen podemos ver la forma en que se realiza la comunicación entre los nodos sensores.



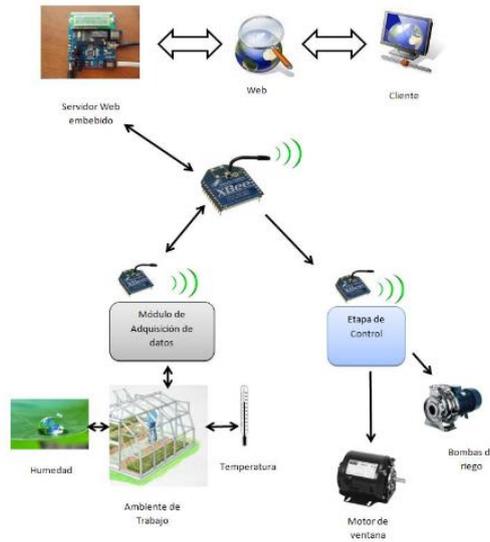
*Ilustración 3. Ruta de enlace sistemas 6LoWPAN.*

En el proyecto desarrollado con tecnología ZigBee, denominado *Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en microcontroladores de alto rendimiento*, encontramos un sistema muy

**424.16.9**

Introducción

similar, la única diferencia que encontramos es que se establece otro tipo de comunicaciones entre eslabones: simple salto. El componente encargado del control y adquisición de las variables es el microcontrolador PIC18.



*Ilustración 4. Sistema ZigBee.*

Ambos sistemas se basan en el estándar de comunicación IEEE 802.15.4 y tienen la función de bajo consumo, denominado LPL (Low Power Listening). La diferencia que podemos notar es la velocidad y retardo en la transmisión de datos debido a la cantidad de saltos que se producen.

La duración del sistema LowPAN es de 4.5 días para pilas alcalinas y de 6.5 días para las de litio. Activando el modo reserva de energía (LPL) la duración es la que se muestra en la siguiente imagen:

Sleep_interval (ms)	Duración (días)	
	2 Alcalina (Duracell MN1500)	2 Litio (Energizer L91)
512	75	156
1024	145	312
2048	291	625

*Ilustración 5. Duración batería con LPL.*

Ahora surge la siguiente pregunta: ¿Hay algún sistema inalámbrico en el que haya una mayor tasa de transmisión de datos?

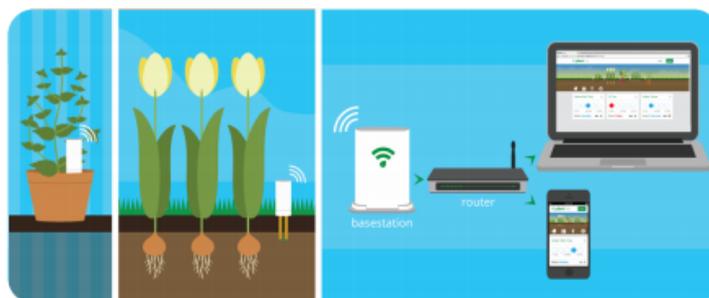
Tras esta pregunta de reflexión, nos planteamos la cuestión de la monitorización. En la mayoría se dispone de página web en la que se muestran las condiciones del invernadero; sin embargo, algunos cuentan con aplicaciones para dispositivos portátiles (Hernanz Hernanz, 2014), (Acosta & Aguilar, 2015).

Sin embargo, el ingenio del ser humano por obtener mejores bienes de consumo, nos está guiando por un entramado de nuevos sistemas aplicados en los llamados *huertos urbanos* experimentando un crecimiento notable en la calidad de las materias primas. Estos productos son ofrecidos por numerosos restaurantes de renombre como productos ecológicos y de excelente calidad con los cuales el cliente no quedará indiferente. Estos sistemas están orientados a una pequeñísima producción, incluso orientado al cuidado de cada planta individualmente. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

### **Plantlink**

El sistema ([www.plantlink.com](http://www.plantlink.com)) está formado por un sensor llamado "Link" y una estación base, el cual hace todo el análisis y se conecta al router de casa, para posteriormente conectar el sistema a una nube. "Link" tiene dos puntas que se introducen en el suelo, césped, jardín o macetas. Este dispositivo avisa al usuario cuando las plantas necesitan ser regadas, pues tiene en cuenta las necesidades específicas de cada planta.

Todos estos dispositivos se pueden conectar a una misma estación base. La estación base se conecta al router de la casa y la información acerca de los niveles de agua se envía a la nube. Los usuarios pueden acceder a los datos del suelo a través de la Web o recibir actualización acerca de las plantas a través de correo electrónico, mensaje de texto o notificación en un dispositivo móvil.

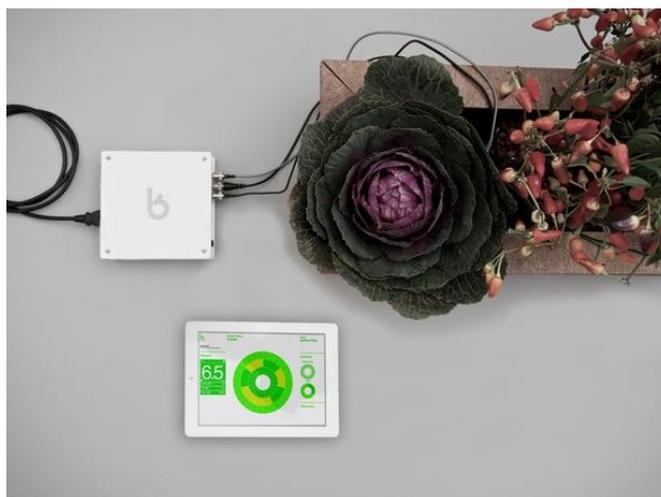


*Ilustración 6. Sistema de monitorización Plant link*

## Bitponics

El sistema Bitponics ([www.bitponics.com](http://www.bitponics.com)) es un jardinero asistente personal diseñado para hacer más fácil los cultivos hidropónicos. El sistema conecta el jardín con la nube, permitiéndoles tener puesto un ojo encima sobre las plantas cuando se encuentra en otros lugares. Está compuesto por una caja a la cual se ha añadido una serie de sensores. Los sensores captan el nivel de PH, temperatura y humedad. Los datos son enviados inalámbricamente a la nube, pudiendo acceder a la misma desde un ordenador, Tablet o móvil.

Dos salidas permiten conectar las luces o bombas para ayudar al crecimiento de las plantas. Cuenta con una página web que le da al usuario un plan de crecimiento, notifica al usuario por correo electrónico cuando tiene que agregar nutrientes o cambiar el depósito de agua.



*Ilustración 7. Modo de trabajo de Bitponics*

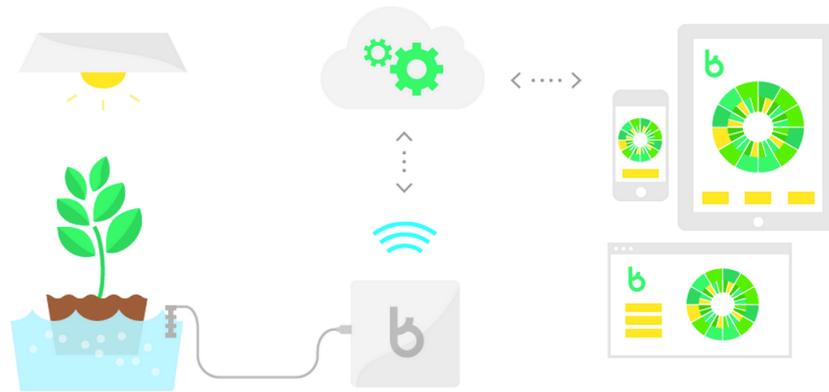
Bitponic trabaja de la siguiente manera:

**Paso 1:** los sensores monitorean continuamente el entorno del jardín. Están alimentados por la estación base.

**Paso 2:** la estación base se conecta a la red Wifi y envía en tiempo real las lecturas de los sensores a la nube Bitponics.

**Paso 3:** la nube ejecuta el plan de crecimiento personal para una temporada completa. Supervisa los sensores, encendiéndolos y apagándolos y notifica cuando haya que tomar decisiones.

**Paso 4:** supervisa el cultivo desde cualquier navegador web. Se puede ver en tiempo real los datos de los sensores, controlar las salidas, así como intercambio de consejos de la comunidad Bitponics.



*Ilustración 8. Pasos del sistema*

Los usuarios podrán subir y compartir fotos de sus cultivos en la comunidad Bitponics.

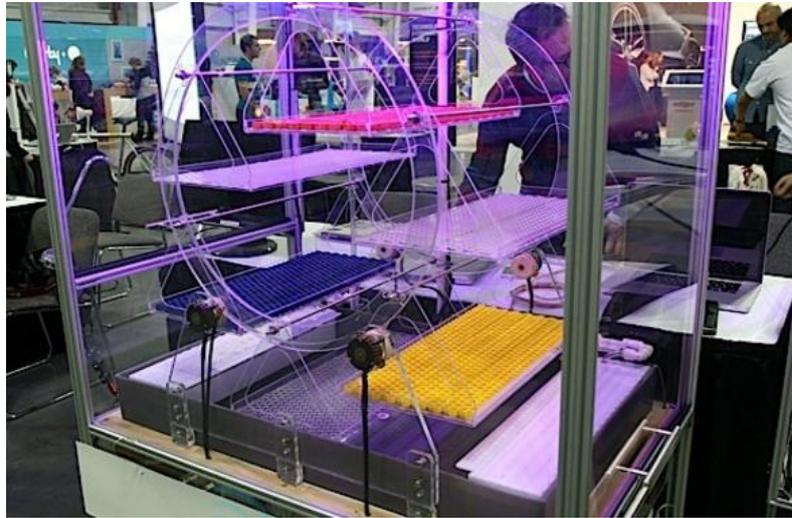
## **GrowCube**

Es otro concepto interesante basado en el sistema de aeroponía, que no requiere de la luz solar, riego o el control manual. Permite a los usuarios crear frutas y verduras frescas de forma relativamente rápida y con muy poca agua. El sistema rocía un nutriente enriquecido sobre las plantas a intervalos regulares, mientras gira en una rueda.

Tiene el tamaño de un lavavajillas y es totalmente hermético para evitar que entre los contaminantes. El sistema está conectado a través de aplicación móvil y página web, lo que permite al usuario monitorizar y controlar el microclima dentro del cubo en tiempo real.

**424.16.9**

Introducción



*Ilustración 9. Componentes del sistema*

El sistema está totalmente informatizado, para evitar que el jardinero posea algún tipo de conocimiento. La programación y su base de datos de la nube proporcionan todos los parámetros necesarios desde principio a fin. La cámara sellada no permite la entrada de insectos así como un sistema de protección anti-patógenos en forma de lámpara de UV.

## 1.5. DEFINICIONES

**Agromática:** Aplicación de los principios y técnicas de la informática y la computación a las teorías y leyes del funcionamiento y manejo de los sistemas agropecuarios (sean estos desde un potrero, una empresa o hasta una región).

**Parales:** Son las columnas que sostienen el vivero, que pueden ser de madera, perfiles y tubos metálicos, concreto y plástico.

**Carevacas o canales de evacuación:** Son los elementos estructurales ubicados sobre los párales destinados a darle forma a las canales para el desalojo de las aguas lluvias. Estas deben ser amplias y resistentes, preferiblemente metálicas.

**Cerchas:** Es la estructura que sostiene la cubierta. La pendiente de la cercha debe ser mayor del 25% para evitar la formación de bolsas de agua en el plástico.

Es necesario que la cubierta tenga una claraboya de ventilación y evitar así el efecto de cometa, es decir que al entrar fuertes vientos y no encontrar salida puedan romper el plástico o levantar la estructura.

**Anclajes:** Son los apoyos para sostener el invernadero y templar los alambres.

Consisten en unas bases de concreto hechas en un hueco inclinado de 80 cm de profundidad y 30 cm de diámetro, con un anillo en varilla de hierro de donde se sujetan los alambres. Estos soportes van a una distancia de 3 a 4 metros, a cada lado de los extremos del vivero y sirven además para terminar la canal.

**Huerto urbano:** Básicamente se trata de un espacio cubierto o no, para el cultivo de flores, hortalizas y frutales a escala doméstica, sin que por ello se menosprecie la calidad de los productos obtenidos en ellos.

**Fotosíntesis:** Es el proceso en el cual las plantas son capaces de producir sus propios alimentos. Para ello disponen de un pigmento llamado clorofila, encargado de absorber la luz adecuada que junto con el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) minerales y agua, pueden producir los azúcares necesarios para su desarrollo y supervivencia. También influyen factores climáticos como la temperatura y humedad. En este proceso se emite oxígeno ( $\text{O}_2$ ) al exterior.

---

**424.16.9**

Introducción

**Respiración:** Es el proceso de que tiene lugar en un vegetal tanto por el día como por la noche. Se trata de consumir  $O_2$  para que las células puedan producir la energía necesaria para realizar sus funciones vitales. Como resultado las plantas expulsan  $CO_2$ .

**Transpiración:** El método usado por la planta para expulsar el agua sobrante del proceso de fotosíntesis.

**Primer principio de la termodinámica:** Según este principio la energía ganada por el sistema se equilibra con la energía perdida por el mismo.

**Sistema de control:** Conjunto de equipos y componentes, que van a permitir llevar a cabo las operaciones de control.

**Control automático:** Es el desarrollo de la acción de control, sin la participación del ser humano.

**Sistema de automatización:** Conjunto de equipos, sistemas de información, y procedimientos que van a permitir asegurar un desempeño independiente del proceso, a través de operaciones de control y supervisión.

**Supervisión y monitoreo:** Es el proceso de lectura de valores de las diversas variables del proceso con el objetivo de identificar el estado en el que se viene desarrollando el proceso en un tiempo actual.

**Humedad relativa del aire:** Se define como el cociente entre la humedad que contiene el aire y la humedad de saturación, expresado en tanto por ciento [%].

**Método de control clásico:** Es el método que espera a que se produzca un error para realizar la acción correctiva.

**Método de control moderno:** Brindan nuevas técnicas ya sea compensar el error y/o eliminarlo.

**Temperatura de consigna:** Es el valor de referencia que se desea obtener en cada momento en un lugar determinado.

**Embebido:** Un sistema embebido es un sistema de computación diseñado para realizar una o pocas funciones dedicadas o específicas. La característica principal es que por estar insertados dentro del dispositivo que controla, está sujeto a cumplir requisitos como el tamaño, fiabilidad, consumo y coste.

**Precipitación pluvial (mm):** Sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno ( $l/m^2$ ).

**Transmisividad:** Es la proporción de la radiación que incide sobre un cuerpo y que acaba transmitiéndose a través de él sin ser absorbida ni reflejada. Los cuerpos opacos tienen una transmisividad  $\tau$  efectivamente nula.

**Altura solar:** Ángulo, en un plano vertical, entre los rayos del sol y la proyección de los mismos en un plano horizontal.

**Solsticio:** Momento del año en que el Sol, en su movimiento aparente, pasa por uno de los puntos de la eclíptica más alejados del ecuador y en el que se da la máxima diferencia de duración entre el día y la noche.

**API Key:** No es más que un identificador (una clave y contraseña) para autenticarte cada vez que utilizas un servicio de internet y al cual se le asignarán todos los cargos que correspondan por uso de los distintos servicios.

**Firmware:** Es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo.

**TLS:** Es un protocolo criptográfico que proporcionan comunicaciones seguras por una red. La comunicación cifra el flujo de datos entre las partes permitiendo la confidencialidad del dato /mensaje.

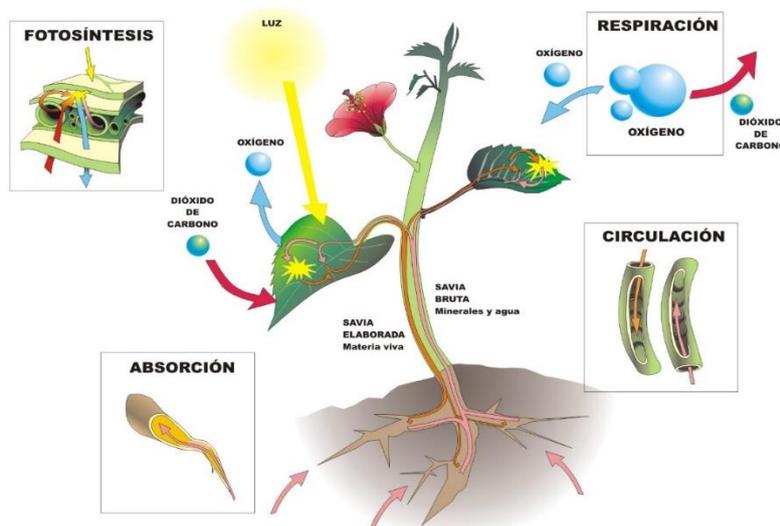
## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. INVERNADEROS**

Según la "Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos" (ESYRCE) perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, un **invernadero** se define como instalaciones de protección e intensificación de cultivos, que consta de una estructura frecuentemente metálica o de madera, con una altura suficiente para permitir la realización de trabajos agrícolas en su interior, y con cubierta de cristal o plástico que deja entrar la luz. El invernadero dispone siempre de sistema de riego y puede poseer instalaciones de calefacción, ventilación, etc., si bien, en España éstas no suelen ser necesarias.

Las condiciones idóneas para conseguir un cultivo resistente, duradero, vistoso y de buena calidad son, por un lado una correcta **fertilización y buena permeabilidad del suelo**, dependiendo de las necesidades del producto cultivado, de la humedad y del contenido de materia orgánica del suelo, etc. Esta temática está fuera de nuestra competencia, por tanto lo pasaremos por alto.

Y por otro lado, las **condiciones climáticas**. Un invernadero nos va a proporcionar un mayor control sobre el clima, las plagas y las enfermedades para que nuestro cultivo pueda llevarse a cabo adecuadamente. Las variables climáticas que nos condicionan son: temperatura, humedad relativa, luz y nivel de dióxido de carbono. Estos factores se combinan en diferente medida, para que las plantas puedan realizar sus funciones vitales como la fotosíntesis, respiración y transpiración. Mientras más concentración de CO<sub>2</sub> mas se favorece la fotosíntesis, sin embargo, una concentración por encima de la recomendada puede resultar tóxica. Por otro lado, si a esta concentración le añadimos buena luminosidad, humedad y temperatura, conseguiremos que la fotosíntesis sea máxima.



*Ilustración 10. Funciones vitales de las plantas.*

Para la regulación del conjunto de elementos, con el fin de tener un buen cultivo, la finalidad que persigue el invernadero, a grosso modo, es cumplir los siguientes requisitos:

- Proporcionar una temperatura adecuada al cultivo.
- Permitir la entrada de luz solar.
- Tener ventilación suficiente.
- Mantener una buena humedad ambiental.

Además de las características mencionadas, un invernadero bien diseñado debe estar bien adaptado a los recursos locales, ser eficiente en el acondicionamiento del microclima, ser técnicamente funcional, de forma que se pueda operar en su interior de forma ágil y cómoda y estar bien orientado en su producción para la comercialización y el éxito del mercado.

Si se cumple con los requisitos mencionados se podrá disfrutar de las ventajas de los invernaderos **como precocidad en los frutos, aumento de la calidad y del rendimiento, producción fuera de época, ahorro de agua y fertilizantes, mejora del control de insectos y enfermedades y la posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.**

---

**424.16.9**

Marco teórico

Sin embargo no son todo ventajas, aquí podemos ver una serie de inconvenientes:

- Alta inversión inicial, sobre todo estructuralmente.
- Desconocimiento de las estructuras más apropiadas.
- Alto costo de operación e insumos.
- Requiere de personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.
- Condiciones óptimas para el ataque de agentes patógenos. En el interior se establecen las condiciones ideales para proliferación de enfermedades y desarrollo de plagas.
- Dependencia del mercado, por lo que ha de tener un canal de comercialización asegurado, sobre todo si se trata de productos perecederos, a menos que se quiera tener una devaluación del mismo.

Una vez tenemos claro que es un invernadero y como nos afecta al cultivo, realizaremos una vista al pasado para saber de donde surgieron.

### *2.1.1. Historia del invernadero*

La historia del invernadero tal y como los conocemos hoy en día, es decir, como protección de plantas cultivadas y como sistema comercial, es relativamente corta. Sin embargo, hay intentos de sistemas similares que se empleaba en la antigüedad. Alrededor del año 30 después de Cristo, el emperador Tiberio Cesar necesitaba comer pepino todos los días a causa de una enfermedad, así que comenzó la construcción de un specularium, casa dedicada al crecimiento de plantas, cuyo suelo era de estiércol, a modo de calefacción, y hojas finas de mica hacían la función de cristal o plástico. Este era empleado cuando las condiciones climáticas eran adversas; el resto de tiempo permanecían en la intemperie. Posteriormente, los emperadores romanos mejoraron el diseño original y se utilizaron para el cultivo de la vid y rosas. Desde entonces hasta el siglo XVI no hay registros.



*Ilustración 11. Invernadero en el pasado.*

A partir de entonces, aparecieron los precursores de los invernaderos, inicialmente en Inglaterra, Francia, Japón y China, donde ya se empezó a introducir técnicas contra el frío como paneles de vidrio o paneles aceitados. Posteriormente, apareció la pared del ladrillo cuyo aislante era la caña.

En el siglo XIX, ya con el desarrollo económico, la superficie ocupada en Holanda (Westland) con invernaderos sofisticados, de cristal y calefacción, era de 5000 hectáreas dedicadas sobre todo al cultivo de uvas y tomate. En este país se obtenían productos que solamente se podrán cultivar en países cálidos.

La llegada de materiales plásticos, contribuyeron a que países que se sumían en una profunda crisis, como España e Italia, obtengan hortalizas fuera de estación, de forma económica. Paralelamente, en el norte de Europa se incrementó el cultivo de flor cortada y ornamental. Ya cerca de los años 70 el desarrollo se trasladó a Japón, el que se convertiría con el paso del tiempo en uno de los más importantes en este campo.

Las tormentas de 1972 y 1973 obligaron a realizar investigaciones científicas técnicas y sistemáticas a partir de las cuales se obtuvo la primera normativa neerlandesa relativa a la construcción de invernaderos: NEN 3859.

---

## **424.16.9**

### Marco teórico

En los años 80 los invernaderos se extendieron a países en vías de desarrollo, en zonas climáticamente apropiadas para la producción de hortalizas fuera de estación.

La altura ha ido aumentando: desde los 2 metros hasta los 3 y 4 metros que tenemos hoy, lo que permite que haya una mejor ventilación. También se ha mejorado la ventilación con ventanas más grandes y el espacio de cultivo más amplio.

También fueron surgiendo las distintas tipologías de invernaderos conforme se fueron estudiando las ventajas y desventajas de cada sistema.

Actualmente, los Países Bajos se encuentran en la posición predominante en cuanto a horticultura, contando con más de 10.000 hectáreas.

Para concluir a modo de resumen, se puede decir que se ha ido mejorando paulatinamente desde las prácticas tradicionales a otras más modernas y de mayor tecnología gracias a la asistencia técnica y la experiencia en el manejo de cultivos.

### *2.1.2. Tipos de invernaderos*

De la misma encuesta mencionada anteriormente, ESYRSE, se vierte la siguiente tipificación de los invernaderos, de acuerdo a su tecnificación:

- Tipo 1: **invernaderos elementales**. Entre sus características distintivas cabe enumerar:
  - Tipo parral con poste de madera o arco metálico.
  - Cubierta sencilla: plástico corriente o malla.
  - Ventilación manual lateral.
  - Generalmente la altura de estas estructuras no supera los 2,8 m.
- Tipo 2: **invernaderos sencillos**. Se caracterizan por los siguientes rasgos:
  - Estructura metálica con material perimetral de tubos galvanizados.
  - Cubierta de malla o lámina flexible
  - Ventilación lateral y cenital.
  - Normalmente cuentan con sistema de calefacción.
  - Altura mayor de 2,8 m, en algunos casos pueden alcanzar los 6m (Plataneras).

- Tipo 3: **Invernaderos altamente tecnificados**. Deben cumplir la mayoría de las siguientes propiedades, sin ser necesario que las cumplan todas:
  - Estructura rígida de acero u hormigón, frecuentemente multicapilla.
  - Cubierta de Placa semirrígida o rígida, incluso doble cubierta interior
  - Ventilación automática lateral y cenital, incluso forzada.
  - Control de humedad.
  - Calefacción.
  - Sistemas de Fertirrigación en hidroponía.
  - Sistemas de fecundación con abejorros.
  - Altura mayor a 3 m.
- Tipo 4: **otros invernaderos** no incluidos anteriormente.

En la ilustración 12 podemos ver las hectáreas ocupadas por invernaderos que hay en España, así como los distintos tipos durante el año 2015. Se puede apreciar que hay mayor cantidad de invernaderos sencillos (normales, tipo 2), seguidos muy de cerca por los de tipo elemental (tipo 1) y por ultimo por los tecnificados (tipo 3).

Hay una escasa representación de invernaderos tecnificados, pues solo representa menos del 3% (2.79) de la cantidad total. El clima favorable sobre todo en Huelva, Murcia, Almería y Granada, que es donde más se concentran, nos permite no una gran tecnificación de invernaderos.

424.16.9

Marco teórico

Provincias y CC.AA	Total invernaderos	Elementales	Normales	Tecnicados	Sin Información
CORUÑA (A)	232	127	85	16	3
LUGO	14	12	0		1
OURENSE	18	1	7		10
PONTEVEDRA	220	51	125	38	8
<b>GALICIA</b>	<b>484</b>	<b>192</b>	<b>217</b>	<b>53</b>	<b>21</b>
<b>P.DE ASTURIAS</b>	<b>148</b>	<b>10</b>	<b>106</b>	<b>31</b>	
<b>CANTABRIA</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>		
ALAVA	2	2			
GUIPUZCOA	115		113	2	0
VIZCAYA	157	67	83	6	2
<b>PAIS VASCO</b>	<b>274</b>	<b>69</b>	<b>196</b>	<b>8</b>	<b>2</b>
<b>NAVARRA</b>	<b>528</b>	<b>310</b>	<b>116</b>	<b>102</b>	
<b>LA RIOJA</b>	<b>54</b>	<b>54</b>			
HUESCA					
TERUEL					
ZARAGOZA	181	155	26		
<b>ARAGON</b>	<b>181</b>	<b>155</b>	<b>26</b>		
BARCELONA	611	134	475	3	
GIRONA	70	35	22	13	
LLEIDA	28	9	19		
TARRAGONA	20	20			
<b>CATALUÑA</b>	<b>729</b>	<b>197</b>	<b>516</b>	<b>16</b>	
<b>BALEARES</b>	<b>104</b>	<b>28</b>	<b>75</b>		
AVILA	13	7	7		
BURGOS					
LEON	45	8	14	16	6
PALENCIA	16	11	5		
SALAMANCA	7	1	6		
SEGOVIA	154	154			
SORIA					
VALLADOLID	13	13			
ZAMORA	9	9			
<b>CASTILLA Y LEON</b>	<b>258</b>	<b>203</b>	<b>33</b>	<b>16</b>	<b>6</b>
<b>MADRID</b>	<b>167</b>	<b>54</b>	<b>107</b>	<b>6</b>	
ALBACETE	14		14		
CIUDAD REAL	46	10	36		
CUENCA					
GUADALAJARA					
TOLEDO					
<b>CASTILLA LA MANCHA</b>	<b>60</b>	<b>10</b>	<b>51</b>		
ALICANTE	699	190	453	55	
CASTELLON	37	7	30		
VALENCIA	310	228	74	8	
<b>C. VALENCIANA</b>	<b>1.046</b>	<b>425</b>	<b>557</b>	<b>64</b>	
<b>R.DE MURCIA</b>	<b>6.230</b>	<b>3.308</b>	<b>2.705</b>	<b>216</b>	
BADAJOS	139	91	49		
CACERES	117	49	53	15	
<b>EXTREMADURA</b>	<b>256</b>	<b>139</b>	<b>102</b>	<b>15</b>	
ALMERIA	31.801	8.155	22.671	974	1
CADIZ	960	497	388	67	8
CORDOBA	71	9	62		
GRANADA	5.392	2.008	3.259	124	2
HUELVA	8.758	8.130	628		
JAEN	98	12	86		
MALAGA	1.103	863	146	94	
SEVILLA	246	105	141		
<b>ANDALUCIA</b>	<b>48.428</b>	<b>19.779</b>	<b>27.380</b>	<b>1.258</b>	<b>10</b>
PALMAS (Las)	3.167	297	2.818	53	
Sta.C.TENERIFE	3.525	598	2.927		
<b>CANARIAS</b>	<b>6.692</b>	<b>894</b>	<b>5.745</b>	<b>53</b>	
<b>ESPAÑA</b>	<b>65.644</b>	<b>25.832</b>	<b>37.934</b>	<b>1.838</b>	<b>39</b>

Ilustración 12. Distribución de la superficie de invernadero por provincias (ha).



*Ilustración 13. Invernaderos en Almería: "Mar de plástico"*

A continuación realizaremos otra tipificación de acuerdo a su conformación estructural:

- Plano o parral: este tipo de utiliza en zonas poco lluviosas como la de Almería. Tiene dos partes diferenciadas: una vertical constituida por los soportes rígidos y, una horizontal, compuesta por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas encargadas de portar la lámina de plástico. El ancho de las naves pueden ser de 14 a 18 metros.



*Ilustración 14. Invernadero tipo Parral*

---

**424.16.9**

Marco teórico

Las principales ventajas son:

- Construcción económica.
- Mayor resistencia al viento.
- Gran uniformidad luminosa.
- Gran adaptabilidad a la geometría del terreno.

Los inconvenientes más acusados son:

- Poco volumen de aire.
  - Mala ventilación.
  - Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
  - Goteo de agua de lluvia sobre plantas.
  - Rápido envejecimiento de la instalación.
- De raspa y amagado: es similar al anterior cuya diferencia radica en la forma de la cubierta. La cumbrera (raspa) tiene una altura entre 3 y 4.2 m de altura. Entre dos raspas se encuentra el amagado (2 y 2.8 m alt.) con forma de canalones, permitiendo el desagüe de las aguas pluviales.



*Ilustración 15. Invernadero tipo Raspa.*

Ventajas de este tipo de invernadero:

- Su economía.
- Mayor volumen unitario y por tanto mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los planos.
- Buena estanqueidad a la lluvia y aire.
- Mayor superficie libre de obstáculos.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbrera.

Inconvenientes:

- No aprovecha las aguas pluviales.
  - Diferente luminosidad entre las vertientes norte y sur.
  - Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
  - Se aumenta las pérdidas de calor a través de la cubierta.
- Asimétrico o inacral: con el fin de aumentar la exposición solar se ha aumentado la cara expuesta al sur respecto al de tipo raspa. El invernadero se orienta de este a oeste. Con el fin que la radiación incida perpendicularmente, el ángulo de inclinación de la cara norte está comprendida entre 18 y 30° y entre los 8 y 11° en la cara sur. Altura máxima entre 3 y 5m.

Ventajas:

- Buen aprovechamiento de la luz en invierno.
- Su economía.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Estanco antes la lluvia y aire.
- Buena ventilación.

Inconvenientes:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio de plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.

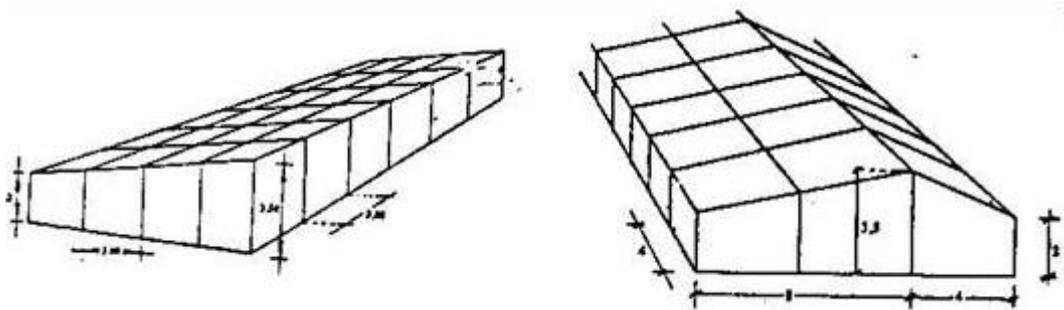


*Ilustración 16. Invernadero tipo Asimétrico o Inacral.*

**424.16.9**

Marco teórico

- De capilla: tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a "un agua" o "dos aguas". Las ventajas son:
  - Fácil construcción y conservación.
  - Acepta todo tipo de plástico en la cubierta.
  - Ventilación vertical en paredes muy fácil de colocar con grandes superficies.
  - Grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia (25° de inclinación).
  - Unión de naves de fácil adosamiento (ancho más común es de 12 a 16 m).



*Ilustración 17. Invernadero tipo capilla de "una" y "dos aguas".*

- Doble capilla: formadas por naves yuxtapuestas. Se ventilan mejor por la ventilación cenital en la cumbrera de los dos escalones de la unión de las naves. Tiene una construcción más dificultosa que los demás, además de ser más cara.



*Ilustración 18. Invernadero tipo doble Capilla*

- Túnel o semicilíndrico: se caracteriza por su forma de cubierta y por su estructura totalmente metálica. Está formada por pies derechos y arco.

Ventajas de este tipo de estructuras:

- Presenta pocos obstáculos en la estructura.
- La elevada altura facilita la circulación de aire.
- Presenta una buena estanqueidad a la lluvia y aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital.
- Buen reparto de luminosidad.
- Fácil instalación al ser prefabricados.

Inconvenientes:

- Elevados coste.
- No aprovecha el agua de la lluvia.



*Ilustración 19. Invernadero tipo Túnel*

En el caso que coloquemos varias naves en batería debemos tener en cuenta que a la hora de ventilar mediante ventanas laterales y sin ningún tipo de ventilación forzada, el ancho no debe ser mayor de 36 a 40 metros.

### 2.1.3. Materiales constructivos para estructura, cubierta y tipos de mallas

Empezaremos describiendo los elementos básicos que conforman un invernadero. Estos elementos son los que se muestran en la siguiente imagen:

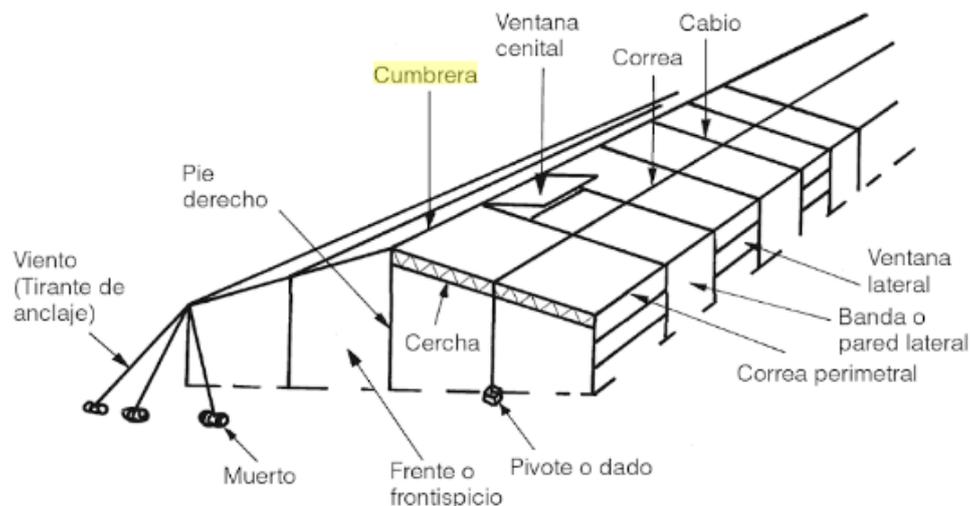


Ilustración 20. Esquema de distintos elementos de una estructura de líneas rectas, a dos aguas.

El elemento principal es la **estructura**, y es el armazón del invernadero constituida por parales (pie derecho), cerchas, carevacas, correas, anclajes (pivote), etc., que soporta la cubierta, el viento, la lluvia, la nieve, los aparatos que se instalan, sobrecargas de entutorado de plantas, de instalaciones de riego y atomización de agua.

Deben reunir las siguientes características:

- Deben ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles y modificables a los materiales de cubierta.
- Que ocupen poca superficie
- Susceptibles a poder ser ampliadas.

**La estructura** es uno de los elementos constructivos que mejor se deben estudiar, desde el punto de vista de solidez y de la economía, a la hora de definirse por un determinado tipo de invernadero.

Los materiales más usados son:

- Madera
- Hierro
- Aluminio
- Alambre galvanizado
- Hormigón armado

Cuestiones a tener en cuenta:

- Las estructuras de madera son económicas pero al ser menor resistentes obliga a colocar un gran número de soportes, produciendo sombreos y reduciendo la comodidad de las operaciones en el interior; la automatización resulta difícil.
- El hormigón produce estructuras muy pesadas y voluminosas. Además intercepta la radiación, lo que conlleva una menor iluminación.
- Los invernaderos metálicos, especialmente los galvanizados, son los más empleados por su ventaja de menor coste respecto al aluminio.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material ya que lo común es emplear distintos tipos de materiales.

En las estructuras de los invernaderos que se construyen en la actualidad se cambian los materiales siguientes: madera, hierro y alambre; hierro y madero; hormigón y madera; hormigón y hierro; alambre y madera.

Los materiales más comunes utilizados en la construcción de invernaderos se agrupan y describen de acuerdo con las partes que los conforman.

- Cimientos: Para las bases o cimientos, los más utilizados son Concreto simple (cemento, arena y gravilla), concreto armado (cemento, arena, gravilla y hierro), piedra, ladrillo.
- Cerchas: Se pueden construir con: Concreto armado, hierro (perfiles o tubos), madera, manilas metálicas y plástico endurecido y guadua.
- Templetes y anclajes: Se puede utilizar: Alambre, manila metálica o de plástico, hierro (ángulos, perfiles), piedra y mojonos de concreto.

En cuanto a los materiales de **cubierta** los materiales empleados son:

**424.16.9**

Marco teórico

- Vidrio.
- Plásticos rígidos.
- Plásticos flexibles.

El vidrio que se emplea no es el de las viviendas porque estos permitirían el paso de rayos luminosos con una intensidad perjudicial, sino el de tipo impreso (pulido por una cara y rugosa por la otra) o catedral tiene un grosor de 4 mm. La transparencia de este cristal es del 90% e impide que la radiación infrarroja que emiten las plantas y suelo salga, lo que impide la pérdida del calor. Es inalterable al calor, humedad y tratamientos del invernadero y no envejece ni pierde transparencia. El inconveniente es el coste y la fragilidad.

Los plásticos rígidos más utilizados son el poliéster reforzado con fibra de vidrio (plástico rígido más económico), el PVC (problemas de dilataciones), el metacrilato (buena transparencia, opaco a la radiación infrarroja y resistente), el policarbonato y el policarbonato alveolar (dos placas unidas transversalmente con comportamiento térmico excepcional).

Los plásticos flexibles más utilizados son el polietileno de baja densidad (LDPE), el policloruro de vinilo (PVC) y el acetato de etilenvinilo (EVA). El polietileno más recomendable es el térmico pues es casi opaco a la radiación infrarroja, es de larga duración, difunde bien la luz y, en general, no produce goteo de agua por condensación. Pesa poco pero es poco resistente a la rotura. El EVA es un material tenaz con temperaturas bajas. Es más transparente a la radiación solar que el polietileno y algo menos que el PVC. Es un buen material para climas frescos.

*Tabla 1. Valoración de las propiedades de los materiales de cubierta; (+) óptimo; (+/-) bueno; (-/+ ) mediano; (-) insuficiente.*

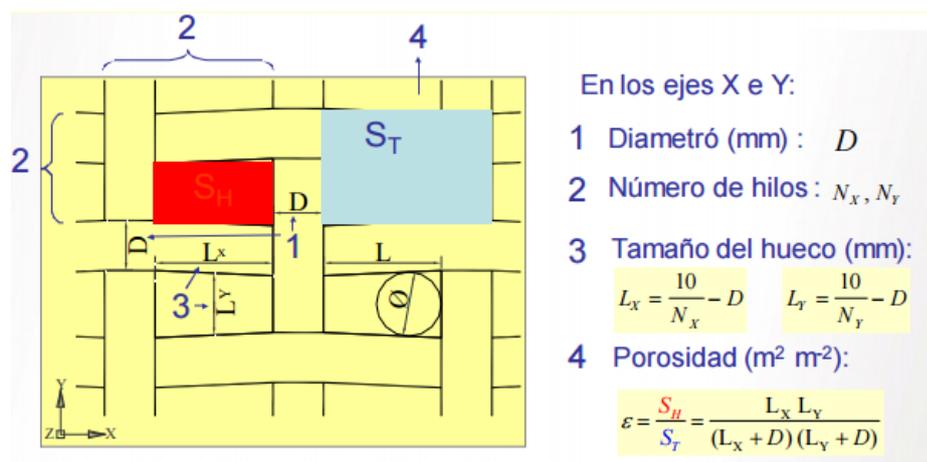
Propiedad	LDEP	LLDEP	PVC	EVA
Resistencia UV	+/-	- /+	- /+	+
Transparencia	-	-	+	+
Termicidad	-	-	+	+
Propiedades mecánicas	+/-	+/-	- /+	+
Resistencia al rasgado	+	+/-	+	-
Resistencia a bajas temperaturas	-	- /+	-	+
Resistencia a altas temperaturas	-	- /+	- /+	+
Películas anchas	+	-	-	+
Termofluencia (Creep)	+	+/-	-	-
Antigoteo	-	-	-	-

### Malla anti-insectos

La manera tradicional de hacer frente a esta elevada concentración de patógenos ha sido la aplicación de productos fitosanitarios. Pero la aparición de resistencias, el riesgo de residuos y las implicaciones medioambientales negativas han llevado a una concienciación por parte de los agricultores de disminuir las dosis. Como consecuencia se emplean enemigos naturales de los insectos: mallas anti-insectos.

Mediante esta medida se pretende prevenir la plaga de varios insectos. Entre las principales plagas que se pueden prevenir están la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci* Gennadius), que produce amarillamiento y debilitamiento de las plantas, y sobre todo los trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). Otros insectos sobre los que actúan las mallas son los pulgones (*Myzus persicae* Sulzev y *Aphis gossypii* Glover), y el submarino o minador de las hojas (*Liriomyza* sp.). Hay que tener en cuenta que a cuanto menor tamaño de cuadrícula, menor es la intrusión de insectos, pero también es menor la capacidad de ventilación.

Estas mallas pueden ser colocadas, en las ventilaciones perimetrales, frontales e incluso en las cenitales, actuando muchas ocasiones como ventilaciones fijas como por ejemplo las ventilaciones cenitales en invernaderos asimétricos.



*Ilustración 21. Caracterización geométrica de las mallas anti-insectos.*

---

**424.16.9**

Marco teórico

**Mallas cubresuelos o mallas anti-hierba**

En algunos casos, dependiendo del color, pueden tener propiedades más acentuadas. Así, las de color negro confieren más calor y las blancas reflejan más los rayos solares. Por tanto, dependiendo del ciclo de cultivo o de las propiedades que más se adapten a nuestras necesidades, serán utilizadas unas u otras.

Otras de sus ventajas, es que debido a que es un material poroso, permite la evacuación del agua evitando encharcamiento y los problemas derivados de estos como puede ser la aparición de enfermedades de tipo fúngico. Los tipos de materiales pueden ser:

- Plástico negro: absorbe la mayor cantidad de radiación incidente sobre la superficie. Capacidad para calentar el suelo.
- Plástico blanco: refleja la mayor cantidad de radiación incidente sobre la superficie. Capacidad para enfriar el suelo.
- Ground cover: es una malla de tejido muy ceñido, de color blanco o negro. Es más resistente que los plásticos y permite el paso de fertilizantes líquidos y de aire.
- Piedra picada (grava): se usa sola, sobre plástico o antes del ground cover para evitar acumulación de agua.

### *2.1.4. Variables a controlar en un invernadero*

**Temperatura**

La temperatura no es un factor de crecimiento en el sentido de que no aporta energía o constituyentes, pero sí que controla las tasas de reacciones metabólicas que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta. Estos procesos hacen de la temperatura el principal factor de crecimiento. De hecho, cada especie vegetal tiene su crecimiento determinado por unos niveles de temperatura que son específicos incluso para cada estudio fisiológico y fenológico. Se manejan valores como la integral térmica de un ciclo de cultivo que es una medida del calor recibido por la planta a lo largo de todo su ciclo de cultivo. Las fluctuaciones térmicas día-noche son importantes y vienen dadas por la termoperiodicidad. Hay especies cuya respuesta en crecimiento está más condicionada por la temperatura media de 24 horas (pepino, tomate, pimiento); otras, en

cambio dependen más para aumentar la tasa de crecimiento del salto térmico día-noche que de la temperatura media de 24 horas (lechuga), o que necesitan un periodo de temperaturas bajas ( $T < 8^{\circ}\text{C}$ ) previa a la floración, (vernalización) como las crucíferas y liláceas.

### **Humedad relativa**

La humedad relativa del ambiente está relacionada directamente con el rendimiento del cultivo por acción del proceso de transpiración, el cual consiste en la salida de vapor de agua de la planta a través de las células estomáticas situadas en la superficie foliar. Esta función se produce por la diferencia de presión de vapor de agua que hay entre la cavidad subestomática y el aire (Déficit de Presión de Vapor, DPV). Bajo las condiciones óptimas, es decir cuando la presión en el exterior es inferior, se produce la apertura estomática. Cuando es elevada, las plantas reducen la transpiración, y consecuentemente reducen su crecimiento, pudiendo ocurrir abortos florales, por el aumento de las enfermedades causadas por hongos o bacterias. Por otro lado, cuando la humedad relativa es baja, transpiran en exceso, causante de deshidratación.

Este proceso de aperturas de estomas da lugar a una succión transmitida a las raíces, absorbiendo el agua y los nutrientes disueltos, y su transporte por toda la planta, actuando a la vez de regulador de temperatura de la planta.

Ahora bien, el efecto de esta variable climática dependerá del tipo de cultivo. Hay plantas que cuentan con la capacidad de resistir ambientes muy secos, en cambio hay otras que necesitan disponer de mucha cantidad de agua. Se consideran plantas de una atmósfera seca a las que pueden realizar sus funciones vitales en una humedad relativa del 35%. La mayoría de las plantas proceden de zonas cálidas y húmedas en las que fácilmente se lleva a un nivel de humedad superior al 90%. Aunque a partir del 75% ya se considera de atmósfera húmeda.

### **Humedad del suelo**

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Establecer el índice de la humedad del suelo es de vital importancia para las actividades agrícolas. Es importante tener en cuenta lo siguiente:

---

**424.16.9**

Marco teórico

- Los niveles de humedad del suelo determinan el momento del riego.
- La humedad del suelo se puede estimar por el aspecto del terreno.
- Se debe controlar la humedad al menos en una sección del área del campo que difiera de las demás en cuanto a la textura y aspecto del suelo.

La aplicación de riego en el momento exacto y en la cantidad apropiada es fundamental para obtener un buen rendimiento de los cultivos. En exceso de agua reduce el crecimiento al arrastrar nitratos a una profundidad superior al alcance de las raíces de los cultivos, y al desplazar al aire contenido en el interior del suelo provoca la escasez de oxígeno en las raíces.

La falta de agua también es perjudicial para los cultivos, por lo que se debe controlar regularmente el nivel de humedad del suelo para determinar cuándo regar y que cantidad de agua se debe aplicar.

### **Radiación solar**

La mayor recepción de energía lumínica aumenta considerablemente la producción de fotosíntesis neta. La radiación solar actúa sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas como fuente energética para la asimilación fotosintética del CO<sub>2</sub>, como fuente primaria de calor y estímulo. Se encuentra entre 300 y 2500 nm (longitud de onda) del espectro, la que utiliza la planta para el proceso fotosintético se encuentra entre 400 y 700 nm y es conocida como radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Las longitudes de ondas inferiores (luz UV) no son favorables para los procesos de crecimiento, más bien producen quemaduras y necrosis. Para evitar el efecto malsano se dispone del material de la cubierta, que tiene que ser propicio para provocar las pérdidas de alrededor de 30-50% por reflexión y absorción. Éstas pueden deducirse por las leyes ópticas de reflexión, absorción y transmisión tanto del material de cubierta como del material opaco que estructura el invernadero.

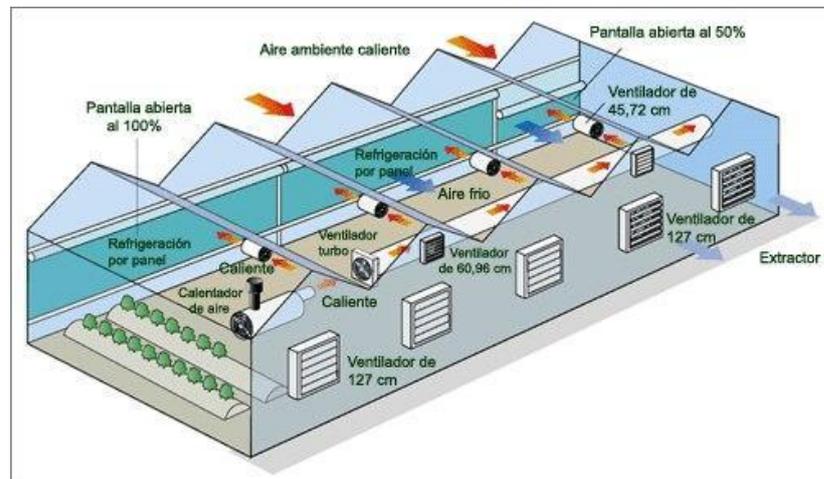
### **CO<sub>2</sub>**

El carbono es el principal componente de la biomasa de la planta, constituyendo el 40-45% de su materia seca total. Es absorbido como CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis. La concentración óptima de CO<sub>2</sub> en el ambiente (definida como aquella

con la que las plantas alcanza un 98% de la tasa máxima de crecimiento), oscila entre 600 y 1000vpm. La concentración normal en el aire ambiente es de 300 a 400 vpm. De ahí el interés que tiene enriquecerla concentración de CO<sub>2</sub> del aire de los invernaderos.

### 2.1.5. Equipamiento para invernaderos

Lo beneficios de tener buen equipamiento en invernadero son muy grandes. En la siguiente imagen podemos ver los distintos dispositivos que podemos instalar y en los siguientes apartados encontramos su funcionamiento, así como su instalación de forma más eficiente.



*Ilustración 22. Equipamiento en invernaderos.*

#### 2.1.5.1. Ventilación y circulación de aire

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto y es un factor fundamental, pues nos permite actuar sobre la temperatura, humedad, contenido de CO<sub>2</sub> y el oxígeno que hay en el interior. El aire caliente se eleva al techo y el aire frío baja a las plantas, haciendo necesario su circulación. Si el aire caliente (más vapor de agua), se enfría bruscamente, se produce el rocío. Este se posa sobre el cultivo frío y al calentarse nuevamente por el sol puede provocar enfermedades. Por tanto si queremos reducir la humedad o este vapor de agua sobrante, la única forma es renovando al aire del interior.

424.16.9

Marco teórico

Además es esencial para bajar la temperatura e introducir y repartir el CO<sub>2</sub>; para ello se necesitarán alrededor de 60 y 80 renovaciones por hora del aire total, donde la tasa de ventilación V<sub>A</sub> tiene que ser mayor a 150 m<sup>3</sup> por cada metro cuadrado a la hora (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h). Bueno este valor también dependerá de la intensidad de la radiación solar y del nivel aceptable de aumento de temperatura dentro del invernadero.

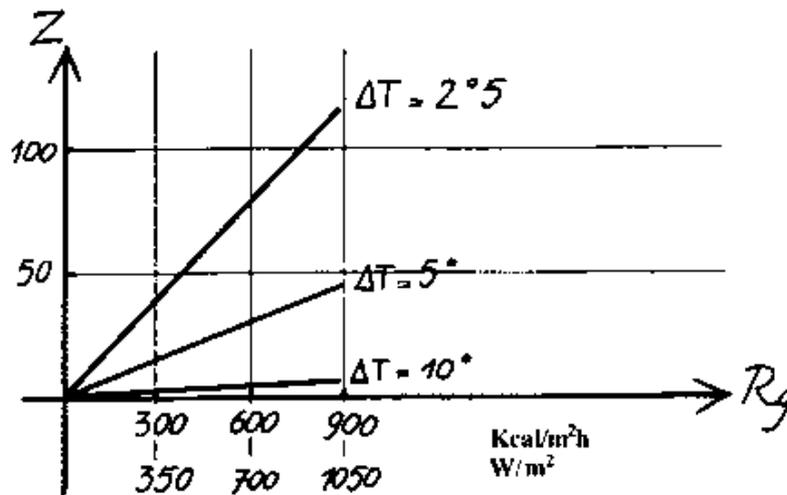


Ilustración 23. Estimación del volumen de aire renovado por hora (Z) para mantener la temperatura del aire en un valor dado ΔT en relación a la intensidad de la radiación solar.

El volumen de aire a evacuar debe corregirse en función de diversos factores. Uno de ellos es el factor velocidad F<sub>v</sub>. Para invernaderos en los que la distancia entre la ventana de entrada hasta el extractor mecánico sea inferior a 30 metros, se debe aumentar el volumen por el factor:

$$F_v = 5.5/D^{1/2}$$

Fórmula 1. Factor velocidad.

Dónde, D es la distancia ventana-extractor en metros. Así se logra una velocidad de circulación del aire más eficaz en la zona de cultivo.

La renovación de aire también puede afectar la labor de los trabajadores, lo que provoca un descenso de la producción y rentabilidad.

Para conseguir una ventilación eficiente, se han desarrollado varias soluciones.

### *2.1.5.1.1. Ventilación natural*

Esta solución se basa en la disposición de ventanas en paredes y techos. Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en el techo, laterales si están colocadas en las paredes laterales y frontales si se sitúan en la parte frontal. Las ventanas deben ocupar entre un 18 y 22% de las superficie del invernadero, por lo tanto, está claro que las ventanas cenitales del al menos 1 metro de ancho son indispensables, además de ventanas laterales de al menos 2 metros de altura en todo el perímetro para conseguir la renovación solo entre 15 y 30 veces de las 60 y 80 recomendadas. El resto de renovaciones las conseguiremos con otros métodos.

La apertura y cierre de las ventanas suele hacerse manualmente, mecánicamente a través de un sistema de cremalleras o accionado eléctricamente por un termostato.



*Ilustración 24. Cremallera*

Ventajas de usar la ventilación natural:

- Costos de instalación y de mantenimiento más bajos.
- No depende la energía eléctrica.
- Opción de construir un invernadero con frente de canalón más largo.

Desventajas:

- Baja o ninguna capacidad de controlar las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero.
- Gran dependencia de las condiciones climáticas externas.

---

**424.16.9**

Marco teórico



*Ilustración 25. Invernadero con ventilación natural.*

#### **2.1.5.1.2. Ventilación forzada**

Esta solución se basa en la instalación de sistemas que tendrán la función de crear las corrientes de aire para establecer las condiciones climáticas ideales, tomando en cuenta el tipo de cultivo, las condiciones climáticas dentro y fuera de la estructura, así como también el tamaño de la estructura.

En base a estos datos, otros sistemas serán necesarios tales como: extractores, circuladores de aire, colchón húmedo y pantallas. Estos deberán ser adaptados al tipo de cultivo, así como otros sistemas apropiados para las necesidades del cultivador y de la producción.

Esta solución le permite al cultivador no sólo suministrar ventilación al invernadero, sino también crear las condiciones óptimas que ayuden a obtener un mayor rendimiento y una producción de mejor calidad.



*Ilustración 26. Ventilación forzada.*

Ventajas de la ventilación forzada:

- Total control y monitoreo en las condiciones climáticas deseadas dentro del invernadero.
- Mejores resultados anuales de cultivo independientemente de los factores externos.

Desventajas:

- De costo más alto que la ventilación natural.
- Depende del suministro eléctrico.
- Reducción de la longitud de los canalones.

### **Extractores y ventiladores**

Son equipos empleados para la renovación, circulación o la extracción de aire interior de cualquier recinto para evitar excesiva acumulación de calor, olores indeseados, humo, polvo y todo elemento perjudicial.

---

**424.16.9**

Marco teórico



*Ilustración 27. Ventilador/extractor.*

Los ventiladores no excesivamente grandes nos permitirán el movimiento del aire. El objetivo es desarrollar un patrón circular (oval). Se debe operar con los ventilares continuamente durante el invierno (25% movimiento del aire) y apagarlos durante en verano para poner en marcha los ventiladores grandes. Hay varios tipos de ventiladores:

- Industriales
- De pared
- De mesa
- De piso
- De techo

Tipos de extractores:

- Axiales
- Centrífugos (radiales)
- Mixtos

A la hora de la colocación del extractor tendremos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Este debe situarse lo más lejos posible de la entrada de aire del recinto para asegurar una completa circulación del aire fresco aspirado y, por la misma razón, no debe situarse adyacente a las puertas o ventanas que pudieran dejarse abiertas, lo cual permitiría que el aire fuera absorbido directamente al extractor sin circular.

- Debe considerarse la accesibilidad con el fin de permitir la inspección y lubricación de la máquina.
- Donde sea esencial el funcionamiento silencioso, el extractor debe montarse sobre un fundamento sólido. Los tabiques finos o la madera terciada tienden a aumentar el ruido y, por lo tanto, deben evitarse, si fuera posible.
- La corriente creada tiene la velocidad promedio de 25 Km/h, por tanto se evitará colocarlo frente a los vientos prevalentes.

### *2.1.5.2. Variadores de Humedad*

El contenido de vapor de agua en el aire afecta directamente al proceso de transpiración, el cual es importante para una gran cantidad de procesos vitales de la planta. Para tener el valor adecuado, no solo tenemos que tener en cuenta la temperatura, sino la cantidad de vapor de agua que han expulsado las plantas en el recinto por medio de la transpiración.

Los ventilares son un elementos importantes en la regulación de la humedad. Pero también contamos con:

- Pantallas térmicas
- Humidificadores
- Pared húmeda
- Microaspersor
- Hidrofán

#### *2.1.5.2.1. Pantallas térmicas*

La pantalla térmica es una tela compuesta por combinaciones de plástico, láminas de aluminio y/o acrílicos entretejidas con filamentos muy porosos y absorbentes de agua. El empleo permite el control de la temperatura cuando la temperatura exterior es alta como baja. Su función no solo es absorber el exceso de humedad existente en el invernadero, que se concentra en la parte superior de la pantalla eliminando el efecto del goteo, sino también regular temperatura, controlar la radiación solar que llega a las

**424.16.9**

Marco teórico

plantas, etc. Puede producir aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero 2-3°C, aumento de 1 a 2°C de la temperatura de plantas y suelo y reducción de las pérdidas de calor por infiltración del aire.

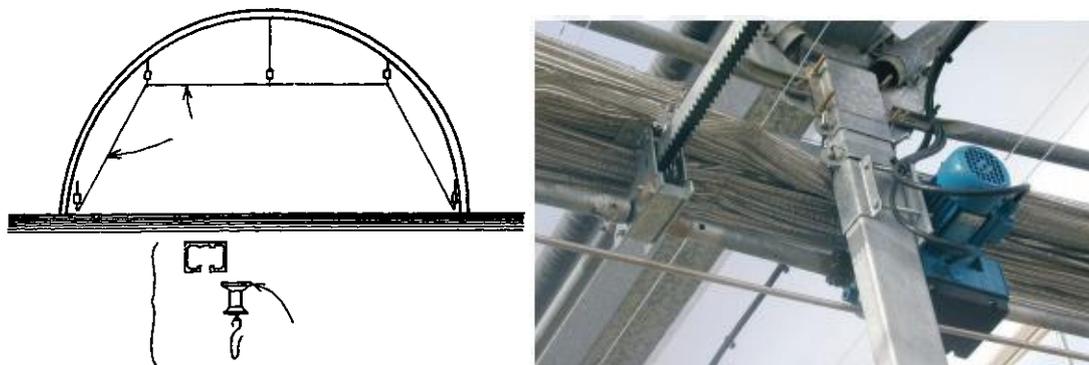
El uso de pantallas consigue incrementos productivos de hasta un 30%, gracias a la capacidad de gestionar el calor recogido durante el día y esparcirlo y mantenerlo durante la noche, periodo en el que las temperaturas bajan sobremanera en los invernaderos. De esta forma se disminuye el uso de combustible de la calefacción del 20 al 27%.

Hay gran variedad de pantallas: pantallas de ahorro energético de retención de calor, pantallas de sombreo, pantallas mixtas, pantallas de sombreo exterior y pantallas de fotoperiodo u oscurecimiento. Las pantallas mixtas, térmicas+sombreo, están formadas por láminas de aluminio o poliéster blanco y láminas transparentes entrelazadas entre sí mismas mediante hilo acrílico. Da sombra al cultivo al mismo tiempo que retiene el calor acumulado en el interior del invernadero.



*Ilustración 28. Ventajas de usar pantallas térmicas.*

Una pantalla térmica debe poseer un factor de transmisión lo más pequeño u un factor de reflexión lo más elevado posible en el infrarrojo medio y largo.



*Ilustración 29. Colocación de pantallas térmicas en invernadero túnel. Motorización.*

### 2.1.5.2.2. Humidificadores (Fog System)

Es un aparato sencillo que cumple la función de aumentar el porcentaje de humedad y conseguir la refrigeración en invernaderos. Este aparato consta de un recipiente que se llena de agua y que a través de un sistema distribuye en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10 micras. Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, por lo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar a los cultivos.

Para ello es preciso emplear un sistema de nebulización formado por un conjunto boquillas nebulizadoras o pulverizadoras conectadas a tuberías que cuelgan de la techumbre del invernadero. La instalación se completa con bombas, motores, inyectores, filtros y equipos de control que permiten la automatización del sistema.



*Ilustración 30. Humidificadores.*

---

**424.16.9**

Marco teórico

Normalmente los difusores o boquillas tienen un caudal de 4l/h y se colocan cada 20-25 metros cuadrados. El control del sistema se hace a través de una electroválvula accionada por un humidostato. Con este sistema pueden conseguirse descensos térmicos en el interior del invernadero de hasta 10-15° C. Se emplea mucho en la producción de ciertas plantas ornamentales como rosas, crisantemos, orquídeas, etc.



*Ilustración 31. Boquilla.*

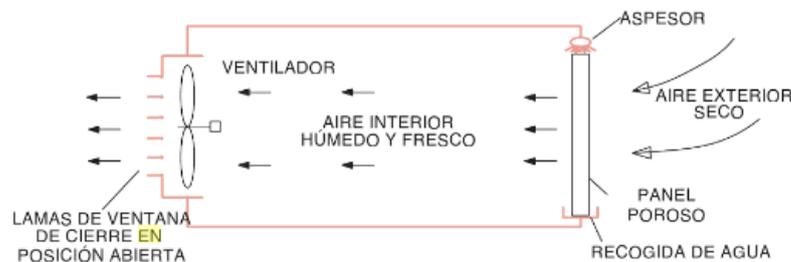
Es importante disponer de un sistema de filtros para evitar que las aguas ricas en bicarbonatos y otras sales provoquen daños en los sistemas de fog, como la obturación de las boquillas.

Como emisores de fog system pueden utilizarse boquillas de alta presión (60 kg/cm<sup>2</sup>, 5 l/h y gotas con un diámetro inferior a 20 micras), boquillas de baja presión (3-6 kg/cm<sup>2</sup> y gotas con un diámetro inferior a 10 micras) y humidificadores mecánicos.

### *2.1.5.2.3. Pared húmeda (Cooling)*

Se basa en una pared porosa formada por fibras (virutas de madera) o con materiales celulósicos en láminas corrugadas y pegadas con aditivos, que se encargan de distribuir agua por las celdas en esta pared. El panel se sitúa a lo largo de todo el lateral o en un frontal del invernadero. En el lado contrario de este dispositivo se ubica un extractor de aire, el cual introduce el aire del invernadero a través de los paneles y a medida que el aire atraviesa el panel poroso, este absorbe la humedad y baja la temperatura. Para el cálculo de la potencia de los extractores se tendrá en cuenta la tasa

de ventilación, la pérdida de presión a través de la pantalla y del invernadero y el rendimiento del ventilador.



*Ilustración 32. Esquema "Cooling System".*

El sistema se caracteriza por el gran consumo de electricidad y agua, su eficacia depende de la humedad exterior, permite usar agua salina o de baja calidad, se recomienda mantener el agua en tanques enterrados y el recinto tiene que ser muy hermético, de manera que todo el aire forzado penetre únicamente a través del panel. De esta forma se podrá reducir hasta un máximo de 10°C en su interior.

Además de la pared húmeda los componentes necesarios del sistema son:

- Alojamiento de acero galvanizado prelacado.
- Depósito fabricado en termoplástico.
- Motor eléctrico.
- Unidad de circulación de agua con homologación CE.
- Kit de fontanería.
- Armario eléctrico con conmutadores de seguridad y control.



*Ilustración 33. Componentes "Cooling".*



*Ilustración 34. Panel poroso.*

#### **2.1.5.2.4. Microaspersor**

Es un dispositivo mecánico que transforma un flujo líquido presurizado y lo convierte en rocío. Se puede conseguir buenos resultados además de ser más económicos que las boquillas, a cambio de perder uniformidad y precisión. Estas partículas de agua se evaporizan, aumentando la humedad del ambiente y disminuyendo la temperatura.

Poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota y una mejor distribución del agua. La diferencia principal con la nebulización es que la microaspersión proyecta en agua en forma de chorros diminutos a la planta, en lugar de suministrarla en forma nebulizada, y a su vez disponen de elementos giratorios que distribuyen el agua en la superficie.



*Ilustración 35. Microaspersores.*

Además de los microaspersores el sistema está compuesto por:

- Grupo de bombeo.
- Filtros.
- Red de tuberías.

#### *2.1.5.2.5. Hidrofán*

Es un sistema formado por boquillas colocadas en ventiladores de forma circular, por el cual sale el agua presurizada. Estos ventiladores se encargan de producir turbulencia removiendo el aire y una buena dispersión de la humedad por todo el invernadero.



*Ilustración 36. Sistemas hidrofán.*

### *2.1.5.3. Sistemas de calefacción*

La mayoría de los cultivos intensivos en invernadero tienen ciclos que concurren durante la estación fría, un descenso en la temperatura de los cultivos por debajo del mínimo óptimo provoca distintos desórdenes fisiológicos, fisiopatías, parada vegetativa etc. Por tanto es necesario que el invernadero cuente con un buen sistema de calefacción. El diseño del sistema de calefacción tiene que procurar que el aporte de calor sea además de eficaz, eficiente.

Las mayores pérdidas de calor del invernadero se producen a través de las paredes y techo, las cuales dependen de las propiedades del material de cubierta (coeficiente de transmisión de calor) y de las pérdidas por infiltración estrechamente ligadas al tipo de estructuras de invernadero, fijación del material de cubierta y al mantenimiento del mismo (uniones, roturas, degradación del material, etc.).

Existen tres formas en que el calor se puede transferir (convección, conducción y radiación). Por convección se calienta el aire del invernadero y por conducción se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo.

#### *2.1.5.3.1. Sistemas de calefacción de tipo convectivo*

Son sistemas en los que el elemento conductor del calor es el aire. Debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados, normalmente, sobre el cultivo. Mediante el uso de tubos perforados próximos a las plantas, podemos mejorar la distribución del calor y aumentar la eficiencia del sistema.



*Ilustración 37. Generador de aire caliente*

El costo de la instalación es inferior a los sistemas de agua caliente, aunque la vida útil del sistema también es más corta.

### **Tuberías de agua caliente**

Es el sistema de calefacción aérea más tradicional y se basa en la circulación de agua caliente o vapor procedente de un foco calorífico (caldera, bomba de calor, etc.) por una red de tuberías metálicas. En la caldera el agua se calienta a 80-90° C y las tuberías se colocan a unos 10 cm sobre el suelo, que pueden ser fijas o móviles. Da un buen control de temperatura, cambios más graduales de temperatura, puede ser un poco lenta para caídas repentinas de temperatura, a diferencia de los sistemas de calefacción por aire caliente.



*Ilustración 38. Caldera central*

---

**424.16.9**

Marco teórico

La distribución del calor dentro del invernadero por el sistema de calefacción central por agua caliente se puede hacer de dos formas diferentes:

- Por termofusión, con tubos de diámetro grande, con una ligera pendiente unidescendiente.
- Por impulsión de bombas o aceleradores con tubería de diámetro menor y una temperatura en el agua de retorno más elevada que en el caso anterior.

Las características del sistema de calefacción del suelo por agua caliente que más destacan, son:

- Al estar el calor aplicado en la base, la temperatura del aire del invernadero es mucho más uniforme en comparación con la calefacción tradicional por tubo caliente colgado del techo.
- Para calentar el suelo se puede utilizar agua entre 30 y 40° C y por tanto es una forma de aplicación de energías alternativas como la geotérmica, calor residual industrial y solar a baja temperatura.
- Los costos de bombeo de agua son mayores. Debido a que la caída de temperatura del agua de calefacción en el invernadero es menor en los sistemas a baja temperatura, se precisa bombear mayor cantidad de agua para ceder la misma cantidad de calor.
- Se pueden usar materiales económicos como el polietileno en lugar de tuberías más caras de acero o aluminio.
- En general, los sistemas de calefacción de suelo representan un ahorro de energía.
- Sus costos de instalación son elevados.

### **Aerotermos**

Por medio de una resistencia eléctrica y con la ayuda del ventilador se transfiere el calor esparciéndose uniformemente a todo el invernadero, la ventaja es que no hay necesidad de utilizar ningún combustible para llevar a cabo su funcionamiento evitando una posible contaminación en el interior del invernadero. Otra forma es empleando la circulación del agua caliente de los tubos y unos ventiladores que esparzan ese calor generado.

### **Generadores de aire caliente**

En este tipo de calefacción encontramos dos subtipos:

- Por combustión directa.
- Por combustión indirecta.

Combustión indirecta: mediante un cambiador de calor, se separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo únicamente aire caliente al invernadero. Dado que parte del calor es expulsado con los gases de combustión, el rendimiento de estas máquinas suele estar entre el 80 y 90%.

Combustión directa: tanto el aire caliente como los gases de combustión son incorporados al invernadero. El combustible a utilizar debe contener el menor número posible de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados.

#### *2.1.5.3.2. Sistemas de calefacción por conducción*

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radicular. Desde un punto de vista físico, uno de los objetivos de la calefacción del suelo es utilizar, indirectamente, la superficie de intercambio con el aire que ofrece el suelo del invernadero, ya que ésta es superior a la de los sistemas aéreos. Desde una caldera central se aporta calor al suelo a través de tuberías enterradas, circulando el agua a temperatura inferior a 40°C, siendo la distribución del calor uniforme y proporcionando mayor eficiencia que los sistemas por aire caliente. El elevado coste inicial y dificultad para realizar labores en el suelo (al ir enterradas las tuberías a menos de 50 cm) han limitado el desarrollo de estos sistemas.



*Ilustración 39. Tubos de calefacción bajo suelo.*

En cultivos fuera de suelo, debido a su baja inercia térmica, la temperatura en la zona radicular se aproxima a la temperatura del aire, pudiendo en periodos fríos limitar el desarrollo de cultivos. La fácil localización de los cambiadores de calor, bajo los sustratos o sobre los mismos y la mayor libertad de trabajo del obrero, ha permitido su expansión en estos sistemas de cultivo. Este sistema es mayormente usado en plantas en masetas criadas directamente en el suelo. El suelo se calienta, lo cual causa movimiento de aire que tiene un efecto positivo en la humedad alrededor de la planta, ya que puede ser removido de ahí.

### *2.1.5.3.3. Sistemas de calefacción por radiación*

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías aéreas dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta (hasta 90° C) o baja temperatura, la utilización de las tuberías metálicas como raíles, permite la incorporación de carros para prácticas culturales y aplicación de productos fitosanitarios, encaminados hacia una mayor eficiencia en el trabajo.

Los sistemas de calefacción por tubo/riel son comúnmente usados y son muy importantes para modificar la temperatura del aire y sacar la humedad de los invernaderos, al calentarse al contacto con los tubos y la de los objetos. La distribución del calor

es más uniforme que en los sistemas por aire, al situar las tuberías cerca del cultivo y mantener unos gradientes térmicos bajos.

En las mañanas encienden el sistema, que es normalmente llamado temperatura de "tubo mínima", de esta forma pueden sacar el exceso de humedad del invernadero para obtener un mayor clima dentro. Entonces aparte del control de temperatura, esta es una de las herramientas más importantes en el control de humedad.



*Ilustración 40. Distribución por tubo/riel*

En el caso de emplear masetas para el cultivo, hay un sistema similar al de tubo/rail y es el de situar los tubos debajo de la mesa.



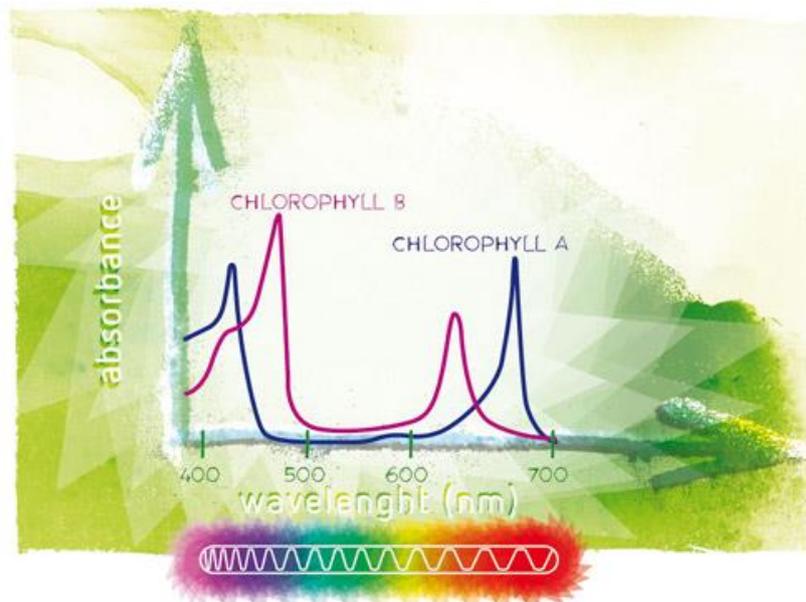
*Ilustración 41. Tubo/riel en cultivo en masetas.*

### 2.1.5.4. Iluminación

La luz es esencial para el desarrollo de una planta. Las plantas convierten la luz en los azúcares que necesitan para crecer y florecer. Los cultivos de interior tienen que lidiar con la luz artificial para alcanzar un nivel de iluminación y calor de un modo que optimice el crecimiento.

Sin luz ninguno de los procesos vitales sería posible:

- La planta utiliza luz, agua y CO<sub>2</sub> para fabricar carbohidratos y oxígeno (fotosíntesis). Cuando la luz alcanza las hojas de una planta, esta es absorbida por células con clorofila. Las dos formas de clorofila más importantes, clorofila a y b, se muestran más sensibles a las luces azul y roja que a cualquier otra.



*Ilustración 42. Formas de clorofila*

- Fototropismo. La forma de crecimiento de una planta no solo está determinado por los genes sino también por las longitudes de onda de la luz, incluyendo la visible como la invisible.
- Una planta "sabe", basándose en la longitud del día, cuando debe producir hormonas de floración y flores (fotoperiodicidad).

*Tabla 2. . Efecto fisiológico de las longitudes de onda de radiación.*

Color	Longitud de onda	Efecto sobre las plantas
<b>Ultravioleta</b>	<280	Efecto letal para los vegetales y acción germicida
<b>Ultravioleta largo</b>	280-380	Daños y posiblemente efectos formativos no deseables.
<b>Violeta-azul</b>	380-490	Efectos fotosintéticos y fotoperiódicos.
<b>Verde-amarillo</b>	490-595	Efecto fotosintético limitado.
<b>Rojo-naranja</b>	595-760	Máximo efecto fotosintético y fotoperiódico.
<b>Infrarrojo medio y corto</b>	760-2500	Alargamiento excesivo del tallo. Calentamiento del ambiente.
<b>Infrarrojo lejano</b>	>2500	Efecto térmico sobre el ambiente.

El modelo más común de iluminación fotosintética es la lámpara de descarga de alta intensidad (HID). Están formadas por una mezcla de gases y metales contenidos en un tubo de cristal. Las lámparas HID pueden ser de alta presión de sodio (luz amarilla) o de halógenos metálicos (luz blanca).

**424.16.9**

Marco teórico



*Ilustración 43. Lámpara de alta presión de sodio.*

Sin embargo surge una problemática: el 35% del coste de los tomates de invernadero proviene de esta calefacción e iluminación; así que es importante preguntarse como minimizar la cantidad de energía necesaria.

Una de las respuestas más obvias consiste en hacer que los invernaderos pasen de usar iluminación incandescente tradicional a LED de bajo consumo. El cambio se ha producido lentamente dentro de la industria debido al alto coste inicial de los LED. Los agricultores se cuestionan si pueden llegar a recuperar el coste inicial de un sistema completamente nuevo de iluminación.



*Ilustración 44. Luz LED*

Un estudio realizado por el centro de Hannover para Tecnologías Ópticas en el que se cuestiona si se puede llegar a recuperar el coste inicial del sistema por LED, reveló que las ventajas son evidentes. Calculan que el coste acumulado de las lámparas de sodio de alta presión supera al de los LED a los siete años, y que después de 16 años el

coste acumulado de las lámparas de sodio de alta presión es más del doble que el coste equivalente de LED.

Aunque las lámparas de sodio de alta presión son individualmente más baratas que los LED, tienen que cambiarse todos los años, en comparación con los 19 años que dura un LED. Y, por supuesto, los LED consumen considerablemente menos electricidad, desperdiciando menos calor.

La parte más interesante del estudio está en el potencial de los LED. Los fisiólogos vegetales saben desde hace tiempo que la clorofila absorbe principalmente las partes azul, verde y roja del espectro, pero absorbe poco la naranja y la amarilla. Así que tendría sentido producir luz sólo en estas partes del espectro. Por supuesto con los LED resulta fácil, pero es imposible con las lámparas de sodio.

Unos niveles más altos de luz roja aumentan la producción de tomates y el contenido de vitamina C de la mostaza, las espinacas y las cebollas verdes. La luz verde también contribuye al crecimiento y desarrollo de la planta.

La postura de los agricultores parece clara: pasarse a la iluminación LED lo más rápido posible.

Para mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación para invernaderos son recomendables las siguientes medidas:

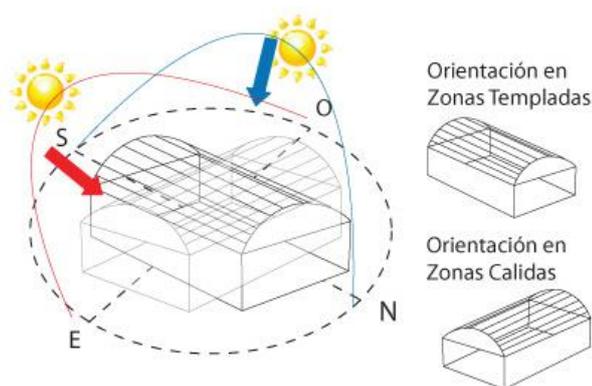
- Evaluar el sistema de iluminación existente en la actualidad en el invernadero.
- Rediseñar la instalación de iluminación y sus variables de control, en caso necesario.
- Instalar sistemas de control de la eliminación que garanticen su uso adecuado y solamente durante el tiempo necesario.
- Instalar detectores de movimiento para iluminar accesos a los invernaderos y lugares que no requieran una iluminación permanente.

## 2.1.6. *Medidas a tener en cuenta en el diseño estructural*

### **En todo tipo de construcción**

Una vez se han mencionado todas las partes del invernadero, a continuación se recogen una serie de características que todo invernadero debe cumplir:

- Espacio para manejo de insumos, que debe ubicarse separado del movimiento de ventas.
- Área de venta al menudeo, evitando la cercanía de los cultivos.
- Dentro del espacio se debe considerar un área conveniente para la privacidad.
- El área de tráfico o paso para contenedores, herramientas y mantenimiento.
- Fuera del área construida, un espacio sombreado para los clientes.
- Área de servicios administrativos y sanitarios.
- Orientación dependiendo del clima. Se recomienda en sentido norte-sur o de acuerdo a los ángulos de radiación para lograr la máxima penetración de la luz y minimizar el sombrero de las plantas a lo largo del día.



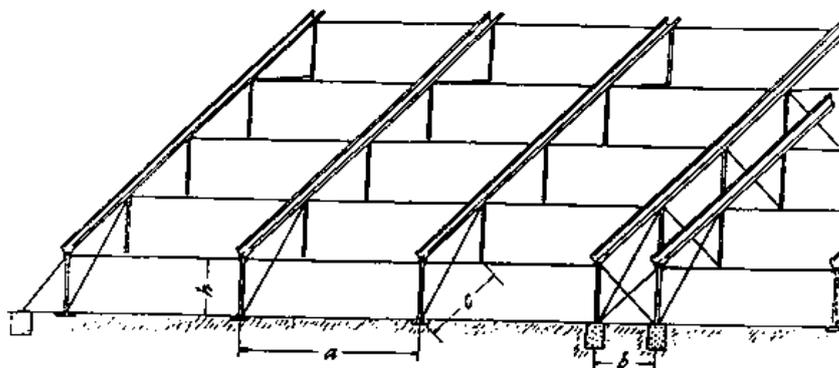
*Ilustración 45. Orientación recomendada según el clima.*

- La construcción debe estar dividida en dos partes independientes: la base o elemento de soporte y la construcción del techo.
- Elección del modelo del invernadero y sus accesorios apropiados.

- Se debe tener en cuenta el peso de la cubierta.
- Favorecer la máxima luminosidad.
- Tener en cuenta la dirección e intensidad del viento para frenar lo máximo posible y facilitar la salida del mismo.

### En todo tipo de material

- Un invernadero multimodular no debe exceder la anchura de 20 a 25 m., para asegurar que la ventilación a través de los laterales y frontales sea suficiente. Cada módulo individual debe tener entre **5 y 8** m. de ancho, por tanto la combinación de tres o seis módulos da una anchura total inferior a los 30 m. El único factor que limita la anchura de los módulos individuales es la eficacia de la ventilación. Debe dejarse un espacio comprendido entre 1,5 y 2 m. entre invernaderos.



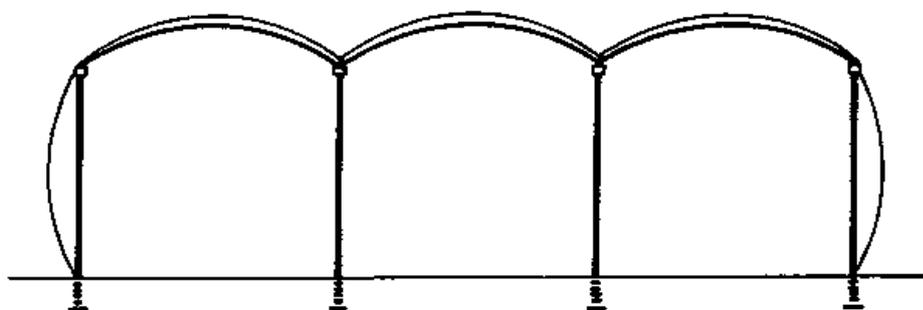
*Ilustración 46. Separación entre invernaderos  $b = 1.5-2$  m*

- En los laterales se construye el mecanismo de ventilación dejando espacio entre dos invernaderos consecutivos, de manera que tal espacio cumple una función doble: el de la ventilación y el del tensado de la construcción.
- Los canales se utilizan para recoger el agua de lluvia y también sirven para sujetar la película plástica. El recolectar el agua de lluvia es necesario para reducir las carencias de agua.

## 424.16.9

### Marco teórico

- La construcción del techo independiente, puede hacerse con tubos de acero o con madera. Así se pueden escoger los materiales más baratos y el tipo de construcción que satisface las demandas del constructor y del agricultor
- Debe reducirse la altura de la estructura en aquellas regiones castigadas por el viento. Si las paredes verticales son suficientemente altas, se puede utilizar maquinaria dentro del invernadero y también la superficie de ventilación se ve aumentada. La película doble (con una separación de 2 a 10 cm) con cámara de aire inflada ofrece la mayor resistencia al esfuerzo del viento. Esto también ayuda a reducir las pérdidas de calor en un 30 y 40%.



*Ilustración 47. Cubierta de doble pared inflada con aire a presión.*

- En aquellos lugares donde nieva, únicamente debe construirse invernaderos individuales.
- Dimensiones de la estructura: altura entre 2 y 3 m.
- Distancia entre cercos 3 m.
- Anchura del módulo entre 5 y 8 m.

### En construcciones de madera

Los modelos en forma de capilla simétrica a dos aguas, hechos con madera tratada son de utilidad en la agricultura mediterránea. La madera debe estar tratada pero con productos que no sean fitotóxicos.

- La preparación consiste en tratar a presión la madera con productos químicos especiales, como sulfato de cobre o bórax. Una vez seca la madera se deja en la solución química dos o tres días. Los pilares también pueden sufrir un tratamiento superficial.

- No deben utilizarse clavos para sujetar el plástico. El método portugués también usado en el Sur de Francia, de fijar las barras de madera alternativamente una por encima y otra por debajo del plástico, es barato y eficaz. Otra alternativa más costosa es la de usar piezas especiales de sujeción.

### **En tipo mixto de madera y tubos de acero**

Para el caso de los invernaderos con cubierta plástica, es preferible usar los techos curvados, porque logran tensar la lámina con mayor facilidad.

- Los invernaderos mixtos de techo curvo suelen tener los pilares de madera y el techo construido por tuberías de acero, como los utilizados en Grecia.

### **En construcciones de acero**

Si el invernadero es de acero es más fácil construir el techo en forma redondeada o en arco apuntado más que en forma de capilla.

- Debe evitarse en lo posible el contacto de la película con los elementos estructurales calentados por la radiación solar y para ello se pueden pintar las tuberías de blanco o cubrirlas con material aislante.

## *2.1.7. Medidas para evitar problemática de la humedad*

Ya se ha mencionado que la humedad relativa del aire dentro del invernadero es un factor que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Es por eso que haremos hincapié en este factor. Los problemas que se nos pueden presentar con relación a este factor climáticos se exponen a continuación.

La forma de combatir la condensación y goteo sobre cultivo es evitando un excesivo nivel de humedad en el ambiente y aumentando la temperatura mediante sistema de calefacción por la noche. En el caso que no contemos con calefacción, podemos combatirla teniendo en cuenta los siguientes puntos:

---

**424.16.9**

Marco teórico

- Aumento de la temperatura del aire y de las plantas utilizando materiales de cubierta de baja transmitancia al infrarrojo o de doble cubierta hinchable.
- Mejora de la distribución del calor entre las plantas utilizando pantallas térmicas.
- Instalando sistemas de riego que ahorren agua (riego por goteo) y utilizando acolchados plásticos que reducen la humedad absoluta.
- Cubierta plásticas con tratamiento antigoteo.
- Favorecer la circulación de aire mediante recirculadores.
- Intercambio de aire permanente entre el interior y el exterior, de menor contenido de humedad, mediante ventilaciones cenitales, laterales y frontales accionadas mediante motorreductores.

Durante periodos cálidos, la humedad relativa en el invernadero disminuye por debajo de los niveles deseados, para aumentarla se puede emplear las siguientes técnicas:

- Pantallas de sombreado automatizadas, el descenso de la temperatura del aire va compensado con el aumento de la humedad relativa.
- Riego por aspersión del suelo, de las plantas y de los materiales de cubierta, consiguiendo aumentar la humedad y disminuir la temperatura.
- Ventiladores recirculadores que mejoran el movimiento del aire. Con ello se consigue aumentar el evo-transpiración y la humedad relativa de los invernaderos cerrados.
- Cooling system, utilizando pantallas de evaporación y ventiladores extractores. De esta manera se evapora agua y aumenta la humedad relativa.
- Nebulizadores que hacen bajar la temperatura y aumentan la humedad relativa.
- Quemar gas para producir CO<sub>2</sub> con lo que se añade humedad al aire.

## 2.1.8. Recomendaciones en la ventilación natural

Ya se ha mencionado en que consiste la ventilación natural, ahora bien hay diferentes sistemas, en la que se puede ver las distintas disposiciones de las ventanas. En el siguiente dibujo podemos ver los distintos sistemas:

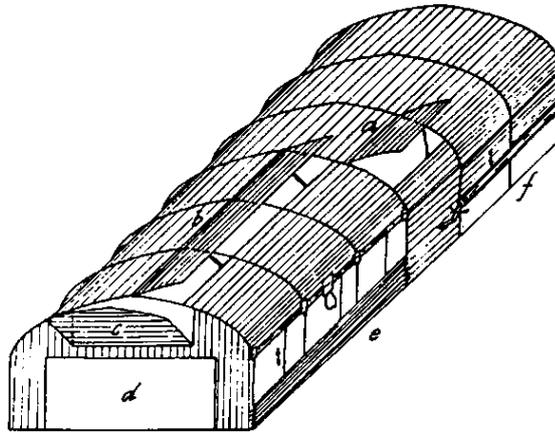


Ilustración 48. Diferentes sistemas de ventilación natural.

Los invernaderos equipados con ventanas cenitales (b, a) y laterales son más eficaces desde el punto de vista de la ventilación natural que los invernaderos con ventanas laterales únicamente. La ventilación lateral y frontal (c, d) se usa más frecuentemente en invernaderos de plásticos.

- Disponer como mínimo de una superficie de ventilación del 20 al 30% de la superficie de suelo cubierta por el invernadero. Además, es conveniente que la superficie de las aberturas cenitales suponga al menos 1/3 de la superficie total de ventilación, de forma que se facilite la ventilación por efecto «chimenea» cuando la velocidad del viento es pequeña.
- Es conveniente orientar el invernadero de forma que las ventanas se sitúen perpendicularmente a los vientos dominantes en el periodo estival en el que las necesidades de refrigeración son mayores.
- Evitar la presencia de edificios o árboles que obstaculicen el flujo natural de aire por las ventanas.

---

**424.16.9**

Marco teórico

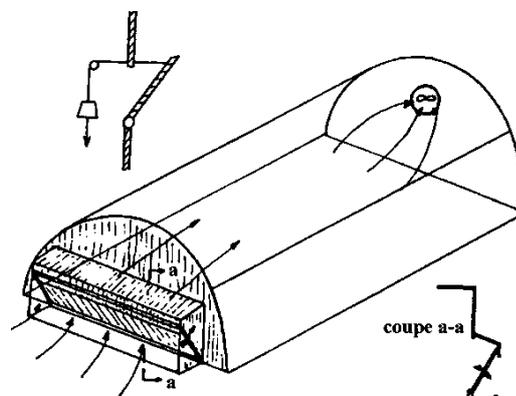
- Para ventilar a través de los laterales, es mejor abrir toda su superficie (hasta el suelo, e; hasta el canalón, f).
- Las ventanas laterales de barlovento no deben tener bordes afilados que puedan deflectar excesivamente el flujo de aire sobre la estructura del invernadero.
- Las ventanas laterales de barlovento producen una mejor ventilación cuando se sitúan cerca del suelo y tienen mayor tamaño que las ventanas cenitales.
- Es importante disponer de ventanas cenitales que abran tanto a barlovento como a sotavento para asegurar una máxima ventilación en diferentes condiciones climáticas.
- Las ventanas deben cerrar herméticamente para asegurar que no se produce infiltración de aire en los periodos fríos.
- No utilizar sistemas de ventilación forzada cuando sea posible una circulación natural del aire exterior.
- Aunque es imprescindible la utilización de mallas anti-insecto desde el punto de vista fitosanitario, deben tener una porosidad superior al 40% para no disminuir en exceso la ventilación natural.
- Es aconsejable un control automatizado de las ventanas en función de las condiciones ambientales dentro del invernadero. Además el sistema debe permitir un cierre automático de las ventanas ante la posibilidad de lluvia o fuertes vientos.

### *2.1.9. Recomendaciones en la ventilación forzada*

La ASAE (Sociedad americana de ingenieros agricultores) establece una serie de normas para el diseño y control de los sistemas de ventilación forzada:

- Los ventiladores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a la presión estática de 0,03 kPa (3 mm de agua).
- La distancia entre dos ventiladores contiguos no debe ser superior a 7,5 m para asegurar la uniformidad en el flujo del aire.

- Siempre que sea posible se deben situar los extractores a sotavento de los vientos dominantes en verano. Si necesariamente es preciso instalarlos a barlovento, se debe aumentar el volumen a ventilar por cada extractor en un 10%.
- Debe haber una distancia mínima sin obstáculos a la salida del aire de 1,5 veces el diámetro del ventilador. Los ventiladores se pueden situar en el techo si hay interferencias en los laterales.
- Para evitar entradas de aire indeseadas cuando los ventiladores no estén en funcionamiento, las aperturas de entrada deben tener rejillas motorizadas que abran hacia fuera y sólo se abrirán cuando los ventiladores entren en funcionamiento. Las rejillas de salida también abrirán hacia fuera movidas por la presión de los ventiladores.
- La superficie de las ventanas de entrada será al menos 1,25 veces el área de los ventiladores.
- Las aspas deben estar protegidas con tela metálica de alambre de 1,5 mm de grosor mínimo y aberturas de 13 mm. Esta especie de pantalla debe estar al menos a 1 m de distancia de cualquier parte móvil para prevenir accidentes.
- Es preferible controlar el volumen de aire renovado en varias fases. Para ello se pueden utilizar motores de frecuencia variable que permitan regular la velocidad de los ventiladores o conectar distinto número en función de la temperatura del invernadero.



*Ilustración 49. Ejemplo de ventilación forzada para invernadero tipo túnel y cubierta simple.*

### *2.1.10. Recomendaciones para mejorar la eficiencia en la iluminación*

Se puede conseguir una mejora de hasta un 10% adoptando las siguientes medidas:

- Reemplazar las lámparas incandescentes para otros tipos más eficientes.
- En los invernaderos que requieren elevados niveles de iluminación y largos periodos con la luz encendida, es aconsejable instalar lámparas de halogenuros metálicos de alta presión al presentar una buena eficiencia radiante.
- Limpiar frecuentemente las superficies de los reflectores para aumentar el rendimiento de los sistemas de iluminación.
- Evaluar el sistema de iluminación existente en la actualidad en el invernadero.
- Rediseñar la instalación de iluminación y sus variables de control, en caso necesario.
- Instalar sistemas de control de la iluminación que garanticen su uso adecuado y solamente durante el tiempo necesario.
- Instalar detectores de movimiento para iluminar accesos a los invernaderos y lugares que no requieran una iluminación permanente.
- Revisar periódicamente la instalación.

## 2.2. ¿POR QUÉ ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO?

Las distintas variables climáticas que encontramos en un invernadero se combinan en diferente medida para que las plantas puedan realizar sus funciones vitales. Mientras más concentración de CO<sup>2</sup> mas se favorece la fotosíntesis, sin embargo, una concentración por encima de la recomendada puede resultar tóxica. Por otro lado, si a esta concentración le añadimos buena luminosidad, humedad y temperatura, conseguiremos que la fotosíntesis sea máxima.

Para ello es necesario crear una barrera física que nos permita mantener los cultivos dentro de un espacio cerrado y al que se pueda someter un control ambiental estricto. Además de proteger contra fenómenos climáticos como las granizadas o heladas, nos permitirá mantener los niveles adecuados de la radiación, temperatura, humedad relativa y nivel de CO<sub>2</sub>, y así conseguir la mejor respuesta de las plantas y por tanto, mejoras en el rendimiento, precocidad, calidad del producto y calidad del cultivo durante todo el año.

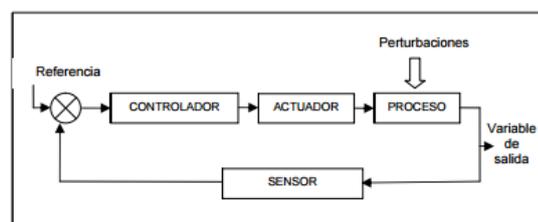
Para conseguir las condiciones óptimas es necesario invertir tecnológicamente en sistemas que nos permitan controlar el microclima generado en el interior del invernadero y del cual el agricultor podrá constatar un gran incremento de calidad y rendimiento del cultivo. Por ejemplo, las rosas requieren de un control climático minucioso durante toda la etapa de crecimiento, hecho que resultaría casi imposible si no se contara con control automático.

Por otro lado, el manejo de un bien natural preciado como es el agua requiere de un sistema de monitorización de temperatura, humedad de aire y suelo, así como el tiempo de riego. Así conseguiremos regar de manera eficiente: solo cuando lo requiera el cultivo.

Ahora bien, teóricamente pinta muy bien, pero ¿Qué elementos son los que intervienen y sistemas de control hay para realizar dicho proceso?

### 2.2.1. Elementos de un sistema de control automático

Cada sistema de control es diferente, sin embargo todo cuentan con los mismos componentes.



*Ilustración 50. Elementos que conforman el sistema de control.*

---

**424.16.9**

Marco teórico

Un elemento **controlador** es esencial pues es el “cerebro” encargado de comparar el valor medido con el valor deseado. En base a esta comparación calcula un error y en base a este actúa o no para su corrección. Elabora la señal de control que permita que la variable controlada corresponda con la señal de referencia. Estos elementos pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico.

El **actuador** es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control, estos pueden ser de 3 tipos:

- Actuadores eléctricos: usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Ej. motor, relé, switch, electroválvulas.
- Actuadores neumáticos: Trabajan con señales de presión, estas señales son convertidas a movimientos mecánicos.
- Actuadores hidráulicos: operan igual a los neumáticos, son usados en tareas que requieren mayor fuerza por ejemplo levantar compuertas, mover grúas, elevadores, etc. O regular el paso de líquidos para el transportar de un sitio a otro.

El **proceso** está referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba, tolva, tanque, o bien a un proceso completo.

El sensor es elemento de medición de parámetros o variables del proceso. Los sensores pueden ser usados también como indicadores, para transformar la señal medida en señal eléctrica. Los sensores más comunes son los de nivel, temperatura, presencia, proximidad, flujo, presión, entre otros. Pueden ser de varios tipos:

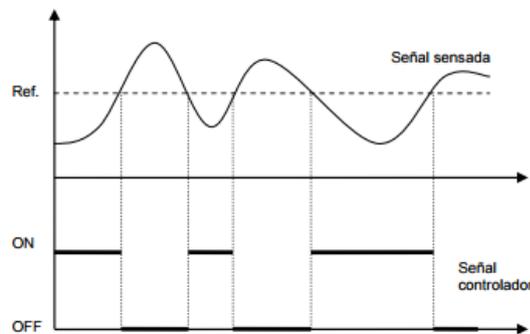
- Sensores de contacto: Son aquellos que realizan la medida en contacto directo, real y físico con el producto o materia
- Sensores de no contacto: Se basan en propiedades físicas de los materiales, son más exactos, pero propensos a interferencias del medio ambiente.
- Sensores digitales: Trabajan con señales digitales, en código binario, pueden representar la codificación de una señal analógica, o también la representación de dos estados on/off.
- Sensores analógicos: Proporcionan medidas continuas, los rangos típicos son de 0 a 20mA, 4 a 20mA, 0 a 5v, 1 a 5v, entre otros.

- Sensores mecánicos: Son aquellos que traducen la acción física del elemento medido, en un comportamiento mecánico, típicamente de movimiento y/o calor. Por ejemplo es barómetro o el termómetro de mercurio.
- Sensores electro-mecánicos: Este tipo de sensor emplea un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico.

En cuanto al método de control y estrategias para realizar la acción de control, los métodos de control (clásicos y modernos) permiten al controlador reaccionar mandando una señal correctiva del error, mientras que las estrategias de control hacen más eficiente a la labor de control, ahorrando recursos y tiempo. Se va a destacar algunos:

### Métodos de control clásico

- Control ON/OFF: Solo acepta dos posiciones, encendido (1) o apagado (0). Se debe tener una señal de referencia para comparar la variable. Si la variable es mayor, el actuador asume una posición y si es menor, asume otra.



*Ilustración 51. Control ON-OFF.*

- Control proporcional (P).
- Control integral (I).
- Control derivativo (D).
- Control proporcional integral (PI): Actúa en forma rápida, tiene una ganancia y corrige el error, no experimenta un offset en estado estacionario. La aplicación típica es el control de temperatura.
- Control proporcional derivativo (PD).

---

**424.16.9**

Marco teórico

- Control proporcional integral derivativo (PID): Es el control más complejo y completo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que esté bien sintonizado.

**Métodos de control moderno**

- Control anticipatorio (Feedforward).
- Compensadores adelanto atraso.
- Realimentación de estados.
- Sistemas de seguimiento.
- Feedback linealización.

**Métodos de control adaptativo**

- Control adaptativo.
- Control optimal.
- Control robusto.
- Control en tiempo real.
- Control difuso.
- Control neuronal.
- Algoritmos genéticos.
- Sistemas expertos

## *2.2.2. Controladores automáticos*

El controlador es el cerebro del sistema, recibe información de los sensores, la procesa y envía las órdenes a los actuadores. Los objetivos generales para una instalación domótica serán los siguientes:

- Mantener las variables que determinan el confort en los valores adecuados.
- Minimizar el consumo de energía mediante el control óptimo de los equipos.
- Conocer y localizar cualquier situación de alarma en el momento en que ésta se produce y tomar las medidas correctivas oportunas.

Una gestión automática e integrada del invernadero, permitiría realizar la mayoría de las tareas dentro del invernadero sin intervención humana. Además conseguirá un correcto mantenimiento de los equipos y también se deberá poder, de forma rápida y sencilla, hacer modificaciones de los equipos.

En el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente se exponen algunos métodos, a continuación analizaremos con más detalle las ventajas e inconvenientes de cada uno:

- Microcontrolador
- FGPGA
- PLC
- Procesador Digital de Señales (DSP)

### **FPGA**

Es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad se pueden configurar mediante un lenguaje de descripción de hardware. Tanto la interconexión, las funciones lógicas y la E/S son reprogramables, esto añade una enorme flexibilidad al flujo de diseño.

Esta tecnología se ha empleado con el objetivo de mejorar la cosecha de hortalizas entre 5 y 10 veces más, puesto que las técnicas reconfigurables por programación permiten hacer simulación de muchos procesos como la temperatura del ambiente, la humedad, apertura y cierre de compuertas, entre otros, y hacer reconfiguraciones en campo para adaptarse a cualquier técnica de control. Por otro lado, el diseño de recolección de datos FPGA que se desarrolló permite a productores implementar técnicas básicas de automatización para invernaderos pequeños o con poca experiencia, hasta controles complejos para muchas variables ambientales y factores internos como externos del invernadero y de comunicación, entre otros

### **Controlador Lógico Programable (PLC)**

EL PLC es el tipo de controlador más común, hace uso de memoria s programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir seguir una lógica de control. Contiene interfaces que le permiten maneja

---

**424.16.9**

Marco teórico

r gran número de entrada s y salidas tanto analógicas como digitales. Es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas, tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada /salida digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador programable, se puede considerar bajo este rubro. Se excluyen los controles secuenciales mecánicos. De una manera general podemos definir al controlador lógico programable a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. Su programación y manejo puede ser realizado por personal con conocimientos electrónicos, sin previos conocimientos sobre informática. También se le puede definir como una "caja negra" en la que existen unas terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, foto celdas, detectores, etc... Unas terminales de salida a las que se les conectarán bobinas de contactores, electro-válvulas, lámparas; de tal forma que la actuación de estos últimos están en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado. Esto quiere decir que los relés de encallamiento, temporizadores y contadores son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa" que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

### **Procesador Digital de Señales DSP**

DSP es el acrónimo de Digital Signal Processor, que significa Procesador Digital de Señal. Un DSP es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Debido a esto es especialmente útil para el procesado y representación de señales analógicas en tiempo real: en un sistema que trabaje de esta forma (tiempo real) se reciben muestras (samples en inglés), normalmente provenientes de un conversor analógico/digital (ADC).

### **Microcontrolador**

Microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de una computadora. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo que gobierna, sistemas embebido. El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan la conexión de los sensores y actuadores de dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender a sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria como juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, sistema de arranque para vehículos, entre otras aplicaciones con las que seguramente no se está familiarizado.

La estructura fundamental de los microcontroladores es muy parecida, pues todos disponen de los bloques esenciales: procesador, memoria de datos e instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos de controladores de periféricos.

### **Arquitectura básica.**

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra que contiene sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias

**424.16.9**

Marco teórico



*Ilustración 52. Arquitectura Harvard.*

**El procesador o CPU**

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.

- **CISC:** Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC. Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, alguna de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.
- **RISC:** Tanto la industria de los ordenadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC. Estos procesos, el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.
- **SISC:** En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC.

## Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos están integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucción que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será de tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues solo deben contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como solo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM. Las capacidades de la ROM están comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen a continuación las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

- **ROM con máscara:** Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado costo del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.
- **OTP: (One Time Programmable).** El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC. La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas. Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.
- **EPROM:** Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read OnIy Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las

---

**424.16.9**

Marco teórico

cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

- **EEPROM:** Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie. El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la Ingeniería de diseño.
- **FLASH:** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM. La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado

### **Recursos especiales**

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el costo, el hardware y el software. Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
- Perro guardián o "Watchdog".
- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Comparador analógico.

- Modulador de ancho de pulso o PWM.
- Puertas de E/S digitales y puertos de comunicación.

*Tabla 3. Comparación de controladores.*

Dispositivo	Características	Precio
<b>PLC Controlador Lógico Programable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite programación.</li> <li>• Consumen poca potencia.</li> <li>• Realiza operaciones aritméticas.</li> <li>• Mayor capacidad de almacenamiento.</li> </ul>	Muy alto
<b>Arduino</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware libre.</li> <li>• Microcontrolador reprogramable.</li> <li>• Compatibilidad con software libre.</li> <li>• Amplio conjuntos de sensores de bajo coste.</li> <li>• Conexiones de forma sencilla.</li> </ul>	Bajo
<b>PIC16F628</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un reducido número de instrucciones de longitud fija.</li> <li>• Instrucciones duran 1 tiempo de instrucción.</li> </ul>	Bajo
<b>Dispositivos Temporizadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contador activa y desactiva una acción cada cierto tiempo.</li> <li>• No reprogramable.</li> <li>• Plataforma cerrada.</li> </ul>	Medio

Se puede comprobar que Arduino es la tecnología más económica y con una gama de productos de hardware disponibles, además de fácil instalación y programación.

### 2.2.1. *Sensores y actuadores*

Definiremos los **sensores**, como los dispositivos que recogen información de cualquier magnitud, transformándola en una señal eléctrica, para su uso posterior a través

---

## 424.16.9

### Marco teórico

de un controlador. Para que esta señal pueda ser procesada posteriormente. Los sensores, que se puede decir que son las entradas al sistema, tienen una función de transductores de entrada en el sistema, ya que se encargan de obtener los parámetros a monitorear. Esto lo consiguen con la conversión de magnitudes para poder transmitirla. En ocasiones es posible conectar sensores directamente con actuadores sin pasar por un control centralizado.

Cuando se trate de elegir instrumentos tendremos en cuenta las siguientes especificaciones técnicas que tiene todos los sensores:

- **Rango (Range):** Lo conforman el conjunto de valores que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento.
- **Precisión (Accuracy):** Es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento, y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de funcionamiento. Puede ser expresado en tanto por ciento de la lectura efectuada, o directamente en unidades de la variable medida.
- **Offset:** O desviación cero, es el valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- **Linealidad o correlación lineal.**
- **Resolución:** Mínima variación de la magnitud de entrada que puede detectarse a la salida.
- **Rapidez de respuesta:** puede ser un tiempo fijo o depender de cuanto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Zona muerta:** Es el intervalo de valores que no hacen variar la indicación o señal de salida del instrumento, es decir, que no produce un cambio de lectura. Puede ser expresado en tanto por ciento del alcance, o directamente en unidades de la variable medida.
- **Sensibilidad (Sensitivity):** Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haber alcanzado

el reposo. Puede ser expresado en tanto por ciento del alcance, o directamente en unidades de la variable medida.

- **Repetitividad:** Es la capacidad del instrumento de medir valores idénticos varias veces el mismo error, en una variable bajo las mismas condiciones de funcionamiento en todos los casos. Se expresa como una tasa máxima porcentual.
- **Derivas:** son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento del sensor.
- **Histéresis:** Es la diferencia máxima que se observa entre los valores indicados por el instrumento cuando recorre toda la escala en forma ascendente, y los valores indicados al recorrerla en forma descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance.

Ahora, ¿Qué tipos de sensores podemos encontrar? A continuación vamos a definir los sensores que podríamos emplear en la función de recaudar la información de cada una de las variables esenciales en la automatización de nuestro invernadero:

- **Anemómetros:** También llamado anemógrafo es un dispositivo meteorológico que se usa para la predicción del clima y, para medir la velocidad del viento. Consiste en unas palas que se mueven con el viento y activan un contador de rotaciones. En meteorología usan los anemómetros de cazole-tas o de molinete.

---

**424.16.9**

Marco teórico



*Ilustración 53. Anemómetro de molinete.*

- **Veletas:** Es un dispositivo giratorio que consta de placa que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Por tanto, las veletas nos revelan la dirección del viento. Deben instalarse lo más alto posible para que ningún objeto pueda alterar la dirección real del viento.
- **Sensores de temperatura:** Son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura: los termistores, los RTD y los termopares.
- **Sensores de humedad ambiental relativa:** También conocido como higrómetro, mide la cantidad de vapor de agua en el aire. Un sensor de humedad incluye tanto un termómetro como un higrómetro. Mide la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y la compara con la mayor cantidad de vapor de agua posible que puede contener, que se determina por la temperatura.
- **Sensores de CO<sub>2</sub>:** Es un instrumento para medir la concentración del gas CO<sub>2</sub>. Los principios más comunes son sensores infrarrojos de gas (NDIR) y sensores de gases químicos.
- **Sensores de luminosidad:** También llamado sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor.

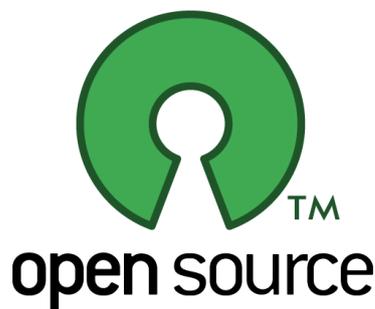
- **Sensores de humedad de suelo:** Este dispositivo puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea.
- **Sensores de presencia:** También llamado sensor de movimiento, es un dispositivo electrónico equipado con sensores que responden a un movimiento físico.

Los **actuadores** son la parte complementaria de los sensores. Son sistemas eléctrico-mecánicos que funcionan cuando reciben una determinada instrucción o de los sensores o de la centralita de control. Estos dispositivos crean una acción de cambio en los equipos a los que están conectados, es decir, después de recibir la instrucción del controlador o regulador, activan un elemento final de control. Los actuadores funcionan con líquidos, gases o energía eléctrica, lo que implica que haya tres tipos de actuadores: hidráulicos, neumáticos o eléctricos.

Hay que tener en cuenta que los actuadores eléctricos se componen de dos partes, un preaccionador o relé, que hace el tratamiento de la señal de control, y un accionador que es el que realmente varía la magnitud física a controlar. Los relés se usan como preaccionadores y puntualmente se pueden ser el accionador.

## 2.3. OPEN SOURCE

La tecnología Open Source ha cambiado la forma de entender la ingeniería, donde el ingenio colectivo coge forma y cada uno pone su granito de arena.



*Ilustración 54. Logo Open Source.*

---

**424.16.9**

Marco teórico

Open Source o Código abierto, nacido en 1990 como remplazo al ambiguo nombre original de software libre, hace referencia al software distribuido y desarrollado libremente, centrándose más en los beneficios prácticos y en la calidad que en cuestiones de libertad.

Sin embargo, el principio vas más allá del hecho de adquirir un software de manera gratuita: se refiere al poder modificar el código fuente del programa sin restricciones de licencia, para evitar monopolios de software ya que muchas empresas de software encierran su código, ocultándolo y restringiéndose los derechos a sí misma. Existe software libre que no brinda acceso al código (no puede considerarse Open Source), y programas Open Source que se distribuyen de manera comercial o que requieren de una autorización para ser modificados.

Requisitos que debe cumplir un programa para que sea considerado dentro del movimiento Open Source ([www.opensource.org/docs/osd](http://www.opensource.org/docs/osd)).

- **Distribución libre:**

La licencia no debe restringir a un tercero el vender o entregar el programa como parte de una distribución mayor que contiene programas de diferentes fuentes. La licencia no debe requerir un royalty u otras comisiones para esta venta.

- **Código fuente:**

El programa debe incluir el código fuente, y debe permitir la distribución en código fuente y en forma compilada. Su un producto no se distribuye con el código fuente, debe de haber una manera sencilla de acceder a él y de distribuirlo. El código fuente debe ser preferida en la cual un programador podría modificar el programa.

- **Trabajos derivados:**

La licencia debe permitir modificaciones y trabajos derivados, y debe permitir que estos se distribuyan bajo los mismos términos que la licencia del software original.

- **Integridad del código fuente del autor:**

La licencia puede restringir que el código fuente se distribuye en forma modificada sólo si la licencia permite la distribución de "archivos parche" con el código fuente con el fin de modificar el programa en tiempo de cons-

trucción. La licencia debe permitir explícitamente la distribución de software a partir de código fuente modificado. La licencia puede requerir trabajos derivados a llevar un nombre o número de versión diferente del software original.

- **No discriminación contra personas o grupos.**

- **No discriminación en función de la finalidad perseguida:**

La licencia no debe restringir a nadie que haga uso del programa en un campo específico de actividad.

- **Distribución de la licencia:**

Los derechos asociados al programa deben aplicarse a todos aquellos a quienes se redistribuya el programa, sin necesidad de pedir una licencia adicional para estas terceras partes.

- **La licencia no debe ser específica para un producto:**

Los derechos asociados al programa no deben depender de que parte del programa de distribución de software en particular. Si el programa se extrae de esa distribución y usado o distribuido dentro de los términos de la licencia del programa, todas las partes a las que se redistribuyen el programa deben tener los mismos derechos que los que se conceden con la distribución de software original.

- **La licencia no debe restringir otro software:**

La licencia no debe poner restricciones sobre otros programas que se distribuyan junto con el software licenciado. Por ejemplo, la licencia no puede insistir que todos los demás programas distribuidos sobre el mismo medio deben ser software de código abierto.

- **La licencia debe ser tecnológicamente neutral:**

Ninguna disposición de la licencia puede basarse en cualquier tecnología o estilo de interfaz individual.

### *2.3.1. Aportaciones del Open Source*

#### **Mozilla Firefox**

La Fundación Mozilla es una organización sin ánimo de lucro dedicada a la creación de software libre y a la innovación en la red; y sus dos productos estrella son Mozilla Firefox y Firefox OS. Mozilla Firefox es un navegador web libre y de código abierto desarrollado para Microsoft Windows, Mac OS X y GNU/Linux coordinado por la Corporación Mozilla y la Fundación Mozilla. Firefox OS es un S.O. lanzado para smartphones basado en HTML5 pensado para smartphones de bajo coste en mercados emergentes.



*Ilustración 55. Logo Mozilla Firefox.*

#### **FileZilla**

Es un cliente FTP multiplataforma de código abierto y software libre, consistente en FileZilla Cliente y FileZilla Servidor. Soporta protocolos FTP, SFTP y FTP sobre SSL/TLS (FTPS). Inicialmente fue diseñado para funcionar en Microsoft Windows pero actualmente es multiplataforma, estando disponible para GNU/Linux, FreeBSD y Mac OS X.



*Ilustración 56. Logo FileZilla.*

## **Android**

Sistema operativo basado en el kernel de Linux desarrollado por Google y orientado a smartphones y tablets. Gracias a su sencillo desarrollo y el bajo coste que supone el diseño de apps para esta plataforma han hecho de Android el sistema con mejor entorno de aplicaciones y el favorito de los usuarios, copando casi el 85% de cuota de mercado.



*Ilustración 57. Logo Android.*

## **Arduino**

Es una plataforma Open Source no solo software sino también hardware para la creación de prototipos. Las placas Arduino integran un microcontrolador que son capaces de leer las entradas para dar salidas en función de las necesidades. Emplea el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring) y el software de Arduino (IDE), basado en Processing.



*Ilustración 58. Logo Arduino.*

A través de los años Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde simples proyectos hasta complejos instrumentos científicos. La gran comunidad mundial

---

## 424.16.9

### Marco teórico

con la que cuenta permite acceder a una gran cantidad de conocimiento tanto para principiantes como para expertos.

Nació en el instituto de diseño de Ivrea como una herramienta fácil para el rápido prototipado, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios crear de forma independiente y, finalmente, adaptarlo a las necesidades particulares.

El software es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados gracias a que toman el enmarañado de programación de microcontroladores y lo envuelve en un paquete fácil de usar. Las características que ofrece son:

- **Asequible.**  
Son placas relativamente baratas en comparación con otras plataformas de microcontroladores.
- **Multiplataforma.**  
El software de Arduino (IDE) se ejecuta en Windows, Macintosh OS X y Linux.
- **Simple, entorno de programación clara.**  
El Arduino IDE es fácil de usar para principiantes pues está basado en entorno de programación Processing.
- **Open Source y software extensible.**  
Se puede ampliar el lenguaje de programación mediante librerías C++ y para aquellas personas que necesiten saber los detalles técnicos pueden emplear el lenguaje de programación AVR.
- **Open Source y hardware ampliable.**  
Los planos de las placas Arduino se publican bajo una licencia de Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo.



*Ilustración 59. Logo Open Source Hardware*

El hardware de las placas consiste en un circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR con pines analógicos y digitales a los que se les pueden conectarse placas de expansión (shields). Este puede ser programado a través de un ordenador, haciendo uso de comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial.

### **Kicad**

Es un entorno de software Open Source para el diseño de circuitos electrónicos, que permite el diseño de esquemáticos (eeschema), de footprints (cvpcb) y la visualización 3D de los componentes (gerbview). Es muy flexible y adaptable, en el que se pueden crear y editar un gran número de componentes.



*Ilustración 60. Logo Kicad.*

## **2.4. IOT (INTERNET DE LAS COSAS)**

El concepto de internet de las cosas se refiere a la interconexión digital de muchos objetos cotidianos con internet, a diferencia del tradicional del tradicional M2M (maquina a máquina).

Si tuviéramos que dar una definición de **Internet de las cosas** la mejor sería decir que se trata de una red que interconecta objetos físicos valiéndose de Internet. ¿Y qué tal si citamos directamente del padre del IOT? En un artículo de 2009 para el diario RFID, **Ashton** hizo la siguiente declaración:

*Los ordenadores actuales —y, por tanto, internet— son prácticamente dependientes de los seres humanos para recabar información. Una mayoría de los casi 50*

---

**424.16.9**

Marco teórico

*petabytes (un petabyte son 1024 terabytes) de datos disponibles en internet fueron inicialmente creados por humanos, a base de teclear, presionar un botón, tomar una imagen digital o escanear un código de barras. (...). Las ideas y la información son importantes, pero las cosas cotidianas tienen mucho más valor. Aunque, la tecnología de la información actual es tan dependiente de los datos escritos por personas que nuestros ordenadores saben más sobre ideas que sobre cosas. Si tuviéramos ordenadores que supieran todo lo que tuvieran que saber sobre las "cosas", mediante el uso de datos que ellos mismos pudieran recoger sin nuestra ayuda, nosotros podríamos monitorizar, contar y localizar todo a nuestro alrededor, de esta manera se reducirían increíblemente gastos, pérdidas y costes. Sabríamos cuando reemplazar, reparar o recuperar lo que fuera, así como conocer si su funcionamiento estuviera siendo correcto. El internet de las cosas tiene el potencial para cambiar el mundo tal y como hizo la revolución digital hace unas décadas. (Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. RFID Journal, p. 1).*

Los objetos se valen de sistemas embebidos RFID (Radio Frequency IDentification, en español identificación por radiofrecuencia), que no solo les conecta a internet sino que, además programa eventos en función de las tareas que le sean dictados remotamente. Si los libros, termostatos, refrigeradores, la paquetería, lámparas, botiquines, partes automotrices, etc. estuvieran conectados a Internet y equipados con dispositivos de identificación, no existirían artículos fuera de stock o medicinas caducadas; sabríamos exactamente la ubicación, cómo se consumen y se compran productos en todo el mundo; el extravío sería cosa del pasado y sabríamos qué está encendido o apagado en todo momento.



*Ilustración 61. IoT, campos de aplicación.*

Según las empresas Gartner y Abi Research, en 2020 habrá en el mundo aproximadamente más de 26 mil millones de dispositivos con un sistema de adaptación al internet de las cosas. Gracias a la próxima generación de aplicaciones de Internet (protocolo IPv6) se podrían identificar todos los objetos, algo que no se podía hacer con IPv4. Este sistema sería capaz de identificar instantáneamente por medio de un código a cualquier tipo de objeto.

El concepto de que los dispositivos se conectan a la red a través de señales de radio de baja potencia es el campo de estudio más activo del internet de las cosas. Este hecho se explica porque las señales de este tipo no necesitan ni WiFi ni Bluetooth. Sin embargo, se están investigando distintas alternativas que necesitan menos energía y que resultan más baratas, bajo el nombre de "Chirp Networks".

Bill Joy imaginó la comunicación M2M, como parte de su estructura de las "Seis Webs", pero no fue hasta la llegada de Kevin Ashton que la industria dio una segunda oportunidad al internet de las cosas.

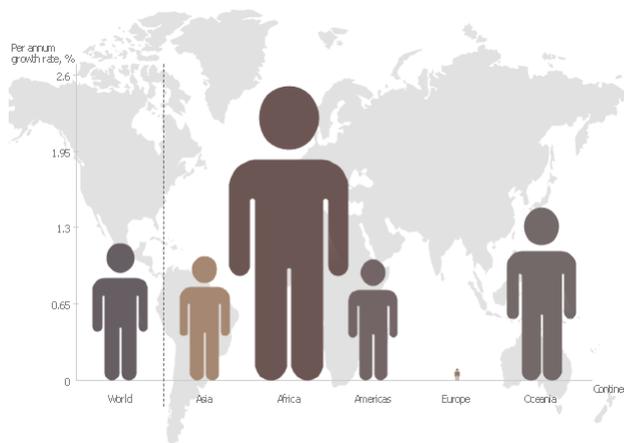
### ***2.4.1. IoT en la agricultura***

Según Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción de comida ha de aumentar un 60% para poder satisfacer a los casi nueve billones que se prevé que aumente en 2050. El mayor crecimiento se produce en las naciones más pobres, evidenciándose la relación entre mayor tasa de crecimiento

**424.16.9**

Marco teórico

de población y baja calidad de vida. Por el contra, las naciones más desarrolladas tienen un crecimiento escaso y hasta nulo en ciertos lugares.



*Ilustración 62. Tasa de crecimiento anual por continentes.*

El aumento del precio de los fertilizantes y electricidad, combinada con la regulación que limitan la irrigación están exigiendo cada vez más a los agricultores que usen los recursos con más precisión.

En la era del internet, donde la información juega un papel fundamental en la vida de las personas, la agricultura se está convirtiendo en una industria con un gran manejo de datos donde los agricultores necesitan obtener y evaluar mucha información recibida por numerosos dispositivos. Estos esfuerzos se enfocan en una serie de factores como la huella ecológica, la seguridad del producto, bienestar de los trabajadores, responsabilidad nutricional, salud de las plantas, responsabilidad económica y presencia en el mercado.

La agricultura es una industria fluctuante, pues las excesivas precipitaciones o bajada de los precios en el mercado condicionan el rendimiento. Además es imposible conseguir el mismo producto de forma idéntica, como ocurre con los coche o microprocesadores, por lo que es necesario la obtención de gran cantidad de datos con el fin de conseguir calibrar nuestras condiciones de cultivo (temperatura, humedad, etc.), con el que nos aseguramos un cultivo en condiciones óptimas, mas no exactos.

Con el creciente número de agricultores jóvenes y componentes más baratos se está produciendo una fusión de datos y tecnología.

En china, por ejemplo se ha puesto en marcha una iniciativa para la modernización de los métodos de cultivos por el de sistemas de control artificial y el manejo de gran cantidad de datos. Mediante estos datos será posible tomar mejores decisiones en cuanto al cultivo.

### **Las posibles aplicaciones en la agricultura**

**Horticultura:** además de la supervisión del tiempo, los sensores se pueden emplear en monitorear la temperatura del suelo y la humedad, radiación solar y nivel de lluvia. Datos provenientes de los sensores en tiempo real pueden usarse para modificar los procedimientos de forma regular, mediante su programación para actuar cuando sea necesario, ahorrando tiempo y dinero.

**Seguridad:** hay muchas maneras de mantener un registro de los activos en el sector agrícola a través del Internet de las cosas.

**Gestión de agua:** como los derechos del agua se reducen y aumentan los costes de transporte, el seguimiento de la utilización y el desperdicio se ha vuelto crucial. Esto se mejora con la recopilación de datos de forma remota en tiempo real. Mediante este sistema se ha podido reducir el consumo de agua un 70% en un cultivo de arándanos (Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile).

### **Sistemas de monitorización en Invernaderos**

Impulsado por los dispositivos conectados, las granjas urbanas son cada vez más inteligentes. Alrededor del 58% de la población mundial reside en las zonas urbanas, lo que provocó un aumento en la agricultura urbana. En el mundo móvil y conectado en el que vivimos, revisar las condiciones de nuestro cultivo puede ser tan fácil a través de una aplicación.

## 2.5. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Comunicaciones inalámbricas hace referencia a las comunicaciones entre dispositivos, móviles o no, o entre personas que intercambian información utilizando el espectro electromagnético.

Se pueden encontrar diferentes clasificaciones de las comunicaciones inalámbricas. Según el alcance encontremos los siguientes grupos:

- Redes de área personal inalámbrica (WPAN: Wireless personal área networks).
- Redes de área local inalámbrica (WLAN: Wireless local área networks).
- Redes de área extendida inalámbrica (WWAN: Wireless wide área networks). Podemos diferenciar dos tipos de WWAN, según quien controle su acceso.
  - Comunicación fija (FWWAN: fixed Wireless área networks).
  - Comunicación móvil (MWWAN: mobile Wireless wide área networks).

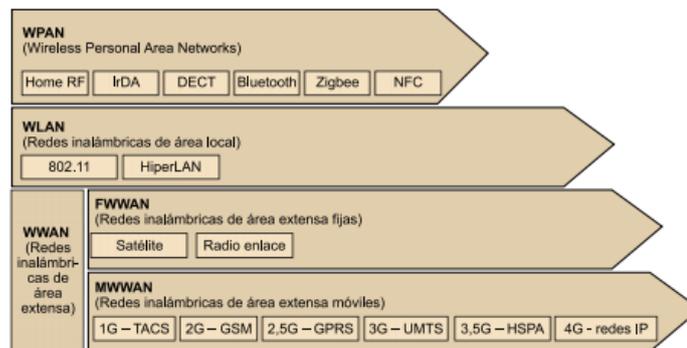


Ilustración 63. Diagrama de Comunicaciones inalámbricas

### 2.5.1. Redes personales inalámbricas (WPAN)

Las WPAN presentan una importante limitación de alcance: los dispositivos que pretenden comunicarse han de estar relativamente cerca, una habitación o un despacho.

Las tecnologías más utilizadas de WPAN son las siguientes: Bluetooth, DECT, IrDa, NFC y Zigbee.

### **Bluetooth**

Bluetooth (**[www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com)**) es una especificación regulada por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1, que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda ISM 2,4 Ghz. Mediante el sistema BR/EDR (velocidad de datos mejorada) es posible el flujo constante de datos de alta calidad de una manera eficiente de energía. Permite conectar inalámbricamente diferentes dispositivos electrónicos, como asistentes digitales personales (PDA), teléfonos móviles, ordenadores portátiles, etc., lo que facilita, abarata y garantiza la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Bluetooth define un alcance corto, alrededor de 10 m y, opcionalmente, un alcance medio, alrededor de 100 m.

Con la llegada de bluetooth de baja energía (Smart Bluetooth o BLE) es posible integrar dispositivos de larguísima duración.



*Ilustración 64. Logo Bluetooth.*

En una red bluetooth, cualquier dispositivo puede actuar como maestro o esclavo:

- El dispositivo maestro se encarga de definir como se establece la comunicación físicamente.
- Los dispositivos esclavos coordinan sus transacciones según las especificaciones del maestro. Normalmente, el primero que solicita el servicio actúa como maestro, excepto cuando la red ya ha sido establecida.

---

**424.16.9**

Marco teórico

**DECT**

La tecnología *digital enhanced cordless telecommunications* (DECT) aparece como una necesidad de que las comunicaciones analógicas de la telefonía de principios de la década de los ochenta evolucionaran hacia un contexto digital. La transmisión digital inalámbrica ofrece una serie de ventajas respecto a la analógica: menos interferencias, más capacidad de dispositivos en una misma zona, más seguridad (se puede cifrar la información) y más movilidad (se pueden establecer mecanismos para saltar de una red a otra, característica denominada roaming).



*Ilustración 65. Logo DECT.*

El estándar DECT aparece oficialmente a principios de 1988 impulsado por el ETSI. Inicialmente, se centró en la definición del radioenlace entre los dispositivos inalámbricos y las estaciones fijas, y en los protocolos y estándares necesarios para desarrollar funciones de traspaso (handover) entre estaciones base. El estándar DECT, que originalmente admitía transferencias de datos de hasta 552 Kbps, ha evolucionado hasta permitir transferencias de 2 Mbps.

Más de cien países han reservado bandas de frecuencias para la transmisión de datos con el DECT. Además, en un gran número de países se opera en una banda de frecuencias protegida, es decir, libre de interferencias con otras tecnologías (1880 a 1900 MHz). Los aparatos inalámbricos de telefonía de uso doméstico son los que utilizan más frecuentemente el DECT, y además, suelen operar con un rango de 50 m.

**IrDa**

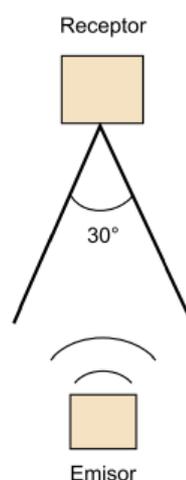
La *Infrared Data Association* (IrDA) es una asociación que integra más de ciento sesenta compañías. El estándar IrDA utiliza el espectro de frecuencia de infrarrojo para transmitir información.



*Ilustración 66. Logo IrDa*

El uso de la tecnología IrDA se ha extendido mucho, sobre todo en los años noventa y a principios de siglo, a causa de su bajo coste de implementación y su bajo consumo de batería. Además, es muy flexible y capaz de adaptarse fácilmente a un gran número de aplicaciones y dispositivos, como a asistentes digitales personales (PDA), teléfonos, impresoras u ordenadores portátiles. Los dispositivos que utilizan la IrDA se comunican mediante el uso del diodo LED (light emitting diode). Es necesario que estos dispositivos estén alineados los unos con los otros. La desviación máxima permitida es de 30°. Otras "desventajas" que encontramos son las siguientes:

- Todos los cuerpos a cierta temperatura emiten luz IR.
- En caso de rotura del enlace es necesario compensar fallos con software.
- El ruido medioambiental (obstáculos) produce interferencias.
- Las redes infrarrojas están dirigidas a oficinas o plantas de oficinas de reducido tamaño, por la escasa longitud de onda (850-900 n).



*Ilustración 67. Desviación máxima IrDa.*

---

**424.16.9**

Marco teórico

**NFC**

La tecnología *near field communication* (NFC) permite la transmisión de datos de una manera simple entre diferentes dispositivos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda ISM de 13,56 MHz (alta frecuencia). Dado que la conexión se produce cuando dos dispositivos NFC están muy próximos entre sí, a menos de 20 centímetros, la comunicación es inherentemente segura.



*Ilustración 68. Logo NFC.*

La tecnología NFC es una extensión del estándar ISO/IEC-14443 para tarjetas de proximidad sin contacto que combina la interfaz de una tarjeta inteligente y un lector en un único dispositivo, lo que la hace compatible con toda la infraestructura de pago sin contacto que existe actualmente.

Aunque la tecnología NFC permite el intercambio de datos entre dispositivos, no está dirigida a la transmisión masiva de datos, como por ejemplo Bluetooth, sino a la comunicación entre dispositivos con capacidad de cálculo, como teléfonos móviles, PDA o PC, ya que es una tecnología complementaria para proporcionar otros servicios, como puede ser la identificación y validación de personas y objetos como el empleado en el pago mediante tarjeta de crédito (Visa, Lac Caixa).

**Zigbee**

Zigbee ([www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)) es un estándar de comunicaciones inalámbricas, basado en el estándar IEEE 802.15.4, que permite habilitar redes inalámbricas con capacidades de control, y monitorizar que sean seguras, de bajo consumo energético (las baterías pueden durar años) y de bajo coste de procesador, de manera bidireccional.

ZigBee es promovida por la ZigBee Alliance, una comunidad internacional de más de cien compañías, como Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell y Siemens, entre otras. De hecho, ZigBee no es una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante e interactuar incluso si son de diferentes compañías.

Es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales.



*Ilustración 69. Logo ZigBee.*

Zigbee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa. Sin embargo a la hora de diseñar dispositivos las empresas optarán por la banda de 2,4 GHz para comunicarse con el resto de dispositivos ya que esta se adopta en todo el mundo. Un nodo ZigBee requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico, aunque el código sea el 50% mayor que el Bluetooth. El rango de alcance es de 10 m a 75 m.



*Ilustración 70. Módulo ZigBee.*

En una red o nodo podemos encontrar 3 dispositivos distintos: el coordinador (ZC), Router (ZR) y dispositivo final (ZED); pudiendo haber hasta 255 nodos.

## 2.5.2. *Redes locales inalámbricas (WLAN)*

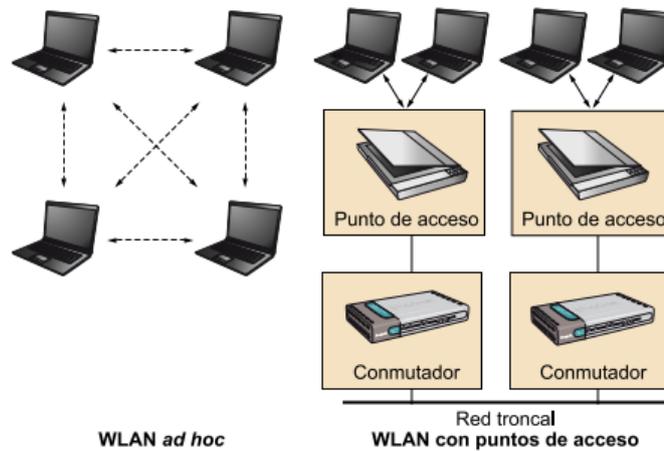
Es una red de cobertura geográfica limitada, velocidad de transmisión relativamente alta, bajo nivel de errores y administrada de manera privada, que se comunica básicamente mediante microondas.

La necesidad de una WLAN no se justifica por una posible mejora en ancho de banda o en fiabilidad, seguridad o eficiencia de las comunicaciones, sino por la comodidad que proporciona al usuario y la movilidad que le permite, y también por su fácil y rápida instalación.

Las WLAN son una extensión y/o una alternativa a las LAN con cables. Los usuarios de una WLAN pueden acceder a los recursos que les ofrece la LAN sin tener que depender de infraestructuras de red (cableado, conectores, etc.).

La gran difusión de las WLAN se debe a las importantes ventajas que presentan respecto a las LAN:

- **Movilidad:** los usuarios de una WLAN pueden acceder a información en tiempo real desde cualquier lugar de la organización.
- **Instalación simple:** no hay que preocuparse por la instalación de cables dentro del radio de cobertura.
- **Flexibilidad:** permite acceder a lugares que una LAN cableada no alcanzaría nunca.
- **Bajo coste:** aunque el coste inicial de instalación de las WLAN puede ser superior a las LAN con cable, a largo plazo puede suponer un ahorro, sobre todo en entornos con cambios frecuentes de ubicación de los dispositivos.
- **Escalabilidad:** las WLAN se pueden configurar con diferentes topologías de una manera sencilla según la necesidad del entorno. Podemos tener las WLAN ad hoc (donde los dispositivos se van añadiendo a la red) y las WLAN con puntos de acceso conectados a la red principal.



*Ilustración 71. Tipos de redes.*

A pesar de las ventajas mencionadas anteriormente, las WLAN tienen una serie de limitaciones y requisitos, como:

- **Velocidad:** las WLAN deben poder transmitir información a velocidades comparables a las LAN (más de 500 Mbps).
- **Retardos:** son importantes en cualquier aplicación, pero especialmente en las transmisiones inalámbricas.
- **Accesos difíciles:** dentro de un edificio podemos encontrar factores que amortiguan la señal. Un dispositivo móvil puede recibir mucha menos potencia que otro.
- **Consumo:** los dispositivos móviles se suelen alimentar con baterías; por lo tanto, hay que diseñarlos para que tengan un consumo eficiente (modo reposo, modo bajo consumo, poco gasto en la transmisión de paquetes, etc.).
- **Máximo número de nodos y máxima cobertura:** una WLAN puede necesitar soportar centenares de nodos. El área de cobertura típica de una WLAN es de entre 10 y 100 m<sup>2</sup>, lo que implica retardos de propagación inferiores a 1.000 nseg.
- **Seguridad:** el medio en el que se transmite la información (ondas electromagnéticas) es abierto para cualquiera que esté en el radio de cobertura. Para garantizar la seguridad, se utilizan algoritmos de cifrado.
- **Interferencias:** se pueden producir a causa de dos transferencias simultáneas (colisiones) o de dos emisores que comparten la misma banda de frecuencia. Las colisiones también se producen cuando varias estaciones

---

**424.16.9**

Marco teórico

que esperan que el canal esté libre empiezan las transmisiones al mismo tiempo. A diferencia de las redes locales con hilos, en las WLAN se produce un efecto de nodo oculto que conlleva un aumento de colisiones.

Las tecnologías más utilizadas de WLAN son principalmente las distintas variantes del IEEE 802.11; aunque también existen otras, como la HIPERLAN.

**IEEE 802.11**

El IEEE 802.11 es una familia de estándares para redes locales inalámbricas desarrollada por el IEEE. El estándar garantiza la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Es decir, por ejemplo, que una tarjeta WLAN para PC de un fabricante funcione con un punto de acceso de otro fabricante. Los conceptos generales son los siguientes:

- Estaciones: dispositivos con interfaz de red.
- Medio: se pueden definir la radiofrecuencia y los infrarrojos.
- Punto de acceso (AP): tiene las funciones de un puente, conectando dos redes con niveles de enlaces parecidos o distintos.
- Sistemas de distribución: importantes ya que proporcionan movilidad entre AP, para tramas entre distintos puntos de acceso o con los terminales, ayudan ya que es el mecánico que controla donde está la estación para enviar tramas.
- Conjunto de Servicio Básico (BSS): grupo de estaciones que se intercomunican entre ellas. Se define dos tipos:
  - Independientes: cuando las estaciones, se intercomunican directamente.
  - Infraestructura: cuando se comunican todas a través de un punto de acceso.
- Conjunto de Servicio Extendido (ESS): es la unión de varios BSS.
- Área de servicio básico: importante en las redes 802.11, ya que lo que indica es la capacidad de cambiar la ubicación de los terminales, variando la BSS. La transmisión será correcta si se realiza dentro del mismo ESS en otro caso no se podrá realizar.
- Límites de la red: los límites de las redes son difusos ya que pueden solaparse diferentes BSS.

El estándar 802.11 describe la funcionalidad de las capas y subcapas y las relaciones entre ellas, pero no especifica cómo se tienen que hacer; solo indica cómo se debe comportar el equipo y deja vía libre al fabricante en la manera de implementarlo.



*Ilustración 72. Logo IEEE 802.11.*

El objetivo principal del estándar 802.11 es garantizar la funcionalidad de las aplicaciones sin tener que considerar si la comunicación es o no inalámbrica.

El estándar 802.11 es una familia de especificaciones, entre las cuales destacamos las siguientes:

- **IEEE 802.11a:** soporta velocidades de hasta 54 Mbps y utiliza la banda de frecuencias de 5 GHz. Este protocolo está orientado a la transmisión de paquetes, pero no soporta funciones de calidad de servicio.
- **IEEE 802.11b** (inicialmente denominado **WiFi**): soporta velocidades de hasta 11 Mbps y utiliza la banda de frecuencias de 2,4 GHz.
- **IEEE 802.11g:** soporta velocidades de hasta 54 Mbps. Es una evolución del IEEE 802.11b y utiliza la misma banda de frecuencias de 2,4 GHz.
- **IEEE 802.11i:** se creó para superar la vulnerabilidad de seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. El estándar incluye los protocolos 802.1x, TKIP y AES y se implementa con WPA2.
- **IEEE 802.11n:** soporta velocidades de hasta 600 Mbps y puede trabajar en dos bandas de frecuencia: 2,4 GHz (la que utilizan 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que utiliza 802.11a). 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las especificaciones anteriores de 802.11. El hecho de que trabaje en la banda de 5 GHz le permite alcanzar un mayor rendimiento, ya que está menos congestionada.

### **HiperRLAN**

El *high performance radio local area network* (HiperLAN) es un estándar de redes locales inalámbricas desarrollado por el ETSI.

La primera versión del estándar, HiperLAN1 (HiperLAN Type 1), surgió en el año 1996 y admitía velocidades de hasta 20 Mbps. La evolución de este estándar, que apareció en el año 2000, se denomina HiperLAN2 (HiperLAN Type 2) y admite velocidades de hasta 54 Mbps. Los dos estándares operan en la banda de frecuencias de 5 GHz.

### **2.5.3. Redes de gran alcance (WWAN)**

Las WWAN permiten la conexión de redes y usuarios de zonas geográficamente distantes. Podemos distinguir dos tipos:

- WWAN fijas, que utilizan radioenlace o satélite.
- WWAN móviles, que utilizan las compañías u otros servicios públicos en la transmisión y recepción de señales.

Sin ningún tipo de duda, las redes WWAN móviles (MWWAN) son las que han vivido una expansión más espectacular en los últimos años. Actualmente las MWWAN son el sistema de comunicación inalámbrico más utilizado, ya que es el que utilizan las operadoras de telefonía móvil y cuenta con más de 5.000 millones de usuarios en todo el mundo.

#### **WWAN fijas (FWWAN)**

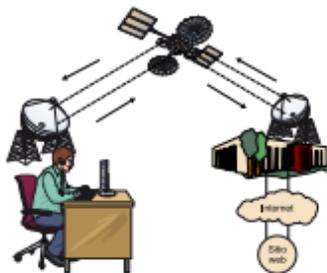
Las redes WWAN fijas pueden utilizar dos tecnologías:

- **Radioenlace.** Utilizando radioenlaces se pueden conectar redes separadas geográficamente con diferentes bandas del espectro electromagnético (infrarrojos, microondas, láser, etc.), que pueden ser de punto a punto o de punto a multipunto.



*Ilustración 73. Radioenlace.*

- **Satélite.** Las comunicaciones por satélite cubren una gran superficie de la Tierra, tienen un gran ancho de banda y el coste de la transmisión es independiente de la distancia; presentan el inconveniente de los retardos de propagación de la señal.



*Ilustración 74. Satélite.*

Actualmente, la mayor parte de las redes de satélite se utilizan para la difusión de televisión. El uso de estas redes para la transmisión de datos inalámbricas es muy limitado, dado que es necesario tener en cuenta los grandes gastos que conllevan en equipamiento, los problemas del retardo que se produce al propagarse la señal y el coste elevado por minuto de transmisión.

### **WWAN móvil (MWWAN)**

En las redes MWWAN el terminal que envía y recibe la información está en movimiento. En estas redes normalmente hay muchos usuarios conectados simultáneamente (acceso múltiple) que utilizan los servicios.

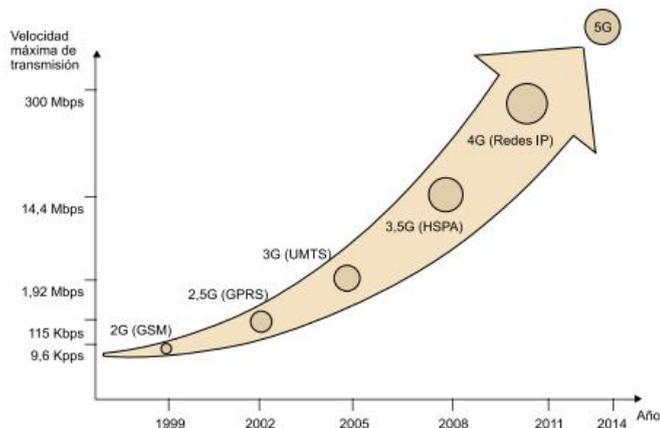
Actualmente en Europa existen diferentes tecnologías de MWWAN, agrupadas por generaciones, donde las más destacadas son las cinco siguientes:

- 2G (segunda generación).

**424.16.9**

Marco teórico

- 2.5G (segunda generación y media).
- 3G (tercera generación).
- 3.5G (tercera generación y media).
- 4G (cuarta generación).



*Ilustración 75. Evolución de las tecnologías MWWAN.*

### 2.5.4. Comparación de protocolos de comunicación inalámbricos

Tras haber analizado independientemente cada sistema, realizaremos una comparativa objetiva de los puntos fuertes de cada sistema, teniendo en cuenta que cada uno tiene un gran potencial en diferentes aplicaciones.

Se debe tener en cuenta que las redes WPAN (redes personales inalámbricas) son las que ocupan la banda libre de 2.4GHz, no necesitan licencia y se utilizan mayormente para la comunicación de dispositivos. Las redes WLAN (redes locales inalámbricas) se utilizan como sistemas de propiedad privada de una empresa, hospital o centros de enseñanza o privada. Este tipo de servicio lo ofrecen empresas de telecomunicaciones.

En la siguiente tabla encontramos una comparativa de los distintos grandes grupos de redes que encontramos actualmente con criterios como la tasa de datos, el rango y la conectividad.

*Tabla 4. Comparativa redes.*

	<b>WPAN</b>	<b>WLAN</b>	<b>WMAN</b>	<b>WWAN</b>
<b>Tecnología</b>	Bluetooth ZigBee NFC IrDa	802.11 b 802.11 a 802.11 g 802.11 n	802.16 802.16 a 802.16 e	GSM GPRS 2G 2.5G 3G 4G
<b>Tasa de datos</b>	Media 1 a 2 Mbps	Altas 11 Mbps a 200+Mbps	Muy altas 350+ Mbps	bajas - medias 10 Kbps a 2.4 Mbps
<b>Rango</b>	Muy corto	Corto	Medio	Global
<b>Conectividad</b>	Ordenador, pe- riféricos	Ordenador, in- ternet	Ordenador alta velocidad	Dispositivos móviles

Las redes WWAN tienen un rango total (en todo el mundo), claramente superior a cualquier otra red, pero su desventaja radica en la tasa de datos relativamente baja con respecto a las redes WLAN. Sin embargo, la WLAN tiene un rango bastante más amplio que algunos sistemas WPAN. Otro punto importante es la conectividad, todo tienen acceso a internet excepto las redes WPAN.

Centrándonos más en algunas redes en concreto, a continuación vemos una tabla con los aspectos más destacados de, quizás los sistemas más conocidos.

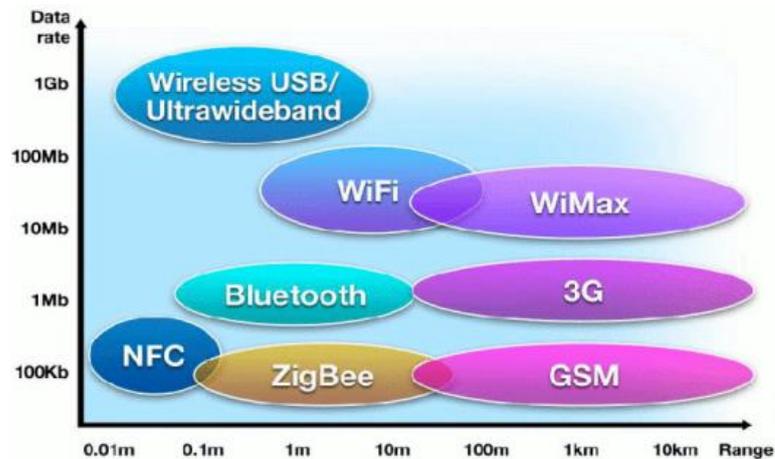
**424.16.9**

Marco teórico

*Tabla 5. Comparación principales sistemas inalámbricos.*

<b>Nombre</b>	<b>ZigBee 802.15.4</b>	<b>GSM/ GPRS</b>	<b>WiFi 802.11 b</b>	<b>Bluetooth 802.15.1</b>
<b>Aplicación</b>	Control y monitoreo	Sistema global de voz y datos	Web. Email, Video	Eliminación cable
<b>Recursos del sistema</b>	4 Kb-32 Kb	16 Mb+	1 Mb+	250 Kb+
<b>Duración batería (días)</b>	100 – 1000 +	1 - 7	0.5 - 5	1-7
<b>Tamaño de la red</b>	Ilimitado	1	32	7
<b>Máxima velocidad de transmisión (Kb/s)</b>	20 - 250	34 - 128 +	11.000 +	720
<b>Rango transmisión (metros)</b>	1 - 100+	1.000 +	1-100	1 - 10+
<b>Medidas de éxito</b>	Confiable Precio	Alcance Calidad	Velocidad Precio flexibilidad	Precio Comodidad

Con relación al rango y la velocidad de transmisión, tenemos el siguiente gráfico:



*Ilustración 76. Velocidad transmisión – rango.*

## 2.6. SERVIDOR WEB

Un servidor web es un programa que está diseñado para transferir hipertextos, páginas web o páginas HTML (HyperText Markup Language): textos complejos con enlaces, figuras, formularios, botones y objetos incrustados como animaciones o reproductores de música. El programa implementa el protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol) que pertenece a la capa de aplicación del modelo OSI.

El Servidor web se ejecuta en un ordenador manteniéndose a la espera de peticiones por parte de un cliente (un navegador web) y que responde a estas peticiones adecuadamente, mediante una página web que se exhibirá en el navegador o mostrando el respectivo mensaje si se detectó algún error. El cliente es el encargado de interpretar el código HTML, es decir, de mostrar las fuentes, los colores y la disposición de los textos y objetos de la página; el servidor tan sólo se limita a transferir el código de la página sin llevar a cabo ninguna interpretación de la misma.

## 2.7. NORMATIVA

Actualmente, la única norma existente sobre la construcción de invernadero en Europa es la *UNE-EN 13031-1. Invernadero, proyecto y construcción. Parte 1: invernadero para producción comercial*, de obligatorio cumplimiento en todos los países miembros del comité europeo de normalización.

En España se elaboró la primera norma en 1992, la norma experimental UNE 76-208092. La norma actual es la ya mencionada, la UNE-EN 13031-1. En ella se especifican los principios generales, así como los requisitos de resistencia mecánica y estabilidad, estado de servicio y durabilidad, para el proyecto y construcción de invernaderos comerciales para la producción de plantas y cultivos, incluyendo la cimentación.

En cuanto a la calidad, en la introducción de la norma *UNE 76-208/92* redactada por el AENOR se dice que en la construcción de invernadero podrán admitirse la aplicación de métodos diferentes a los contemplados en la norma siempre que se demuestren que dichos métodos dan como resultado unos coeficientes de seguridad iguales o superiores a los obtenidos con los métodos especificados en la norma.

La norma especifica las características los métodos de cálculo y los procedimientos de ejecución de los invernaderos multicapilla, de estructura metálica y de cubierta de materiales plásticos, rígidos o flexibles.

En cuanto a la altura del invernadero la norma dice que la altura desde el suelo hasta el canal no será menor de 2.5 m y en cumbre variará según el tipo pero no deberá ser inferior a 3.80 m.

<p>UNE 14-044- Uniones soldadas de las estructuras metálicas. Inspección durante su ejecución y montaje.</p> <p>UNE 36-080- Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro.</p> <p>UNE 36-081- Aceros para estructuras de características mecánicas especiales y soldables. Tipos y grados.</p> <p>UNE 36-082- Aceros para construcción metálica con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.</p> <p>UNE 36-130- Banda de acero al carbono, galvanizada en continuo por inmersión para embutición y conformación en frío.</p> <p>UNE 36-137- Banda de acero al carbono, galvanizada en continuo por inmersión, con límite elástico mínimo especificado.</p> <p>UNE 36-537- Productos de acero: Perfiles huecos para estructuras de edificación.</p> <p>UNE 36-570- Perfiles abiertos conformados en frío. Características y condiciones generales de recepción y suministro.</p> <p>UNE 36-571- Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil LF. Medidas.</p> <p>UNE 36-572- Productos</p>	<p>de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil UF. Medidas.</p> <p>UNE 36-573- Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil CF. Medidas.</p> <p>UNE 36-574- Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil NF. Medidas.</p> <p>UNE 36-575- Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil OF. Medidas.</p> <p>UNE 36-576- Productos de acero. Perfiles abiertos conformados en frío. Perfil ZF. Medidas.</p> <p>UNE 36-593- Perfiles huecos para aplicaciones mecánicas. Perfiles tubulares de precisión calibrados interior y exteriormente. Características y medidas.</p> <p>UNE 36-594- Perfiles huecos para aplicaciones mecánicas. Perfiles tubulares de precisión calibrados exteriormente. Características y medidas.</p> <p>UNE 37-505- Recubrimientos galvanizados en caliente sobre tubos de acero. Características y métodos de ensayo.</p> <p>UNE 37-507- Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.</p> <p>UNE 37-551- Recubrimientos electrolíticos de níquel y cromo.</p>	<p>UNE 37-553- Recubrimientos electrolíticos de cinc y cadmio sobre tornillería con rosca métrica de perfil triangular ISO.</p> <p>UNE 38-010- Recubrimientos anódicos de aluminio. Método del ácido sulfúrico.</p> <p>UNE 38-031- Características mecánicas de las barras y perfiles de aluminio y sus aleaciones.</p> <p>UNE 38-042- Barras redondas, extruidas, de aluminio y sus aleaciones. Tolerancias dimensionales y medidas recomendadas.</p> <p>UNE 38-044- Barras cuadradas extruidas de aluminio y sus aleaciones. Tolerancias dimensionales y medidas recomendadas.</p> <p>UNE 38-046- Barras hexagonales extruidas de aluminio y sus aleaciones. Tolerancias dimensionales y medidas recomendadas.</p> <p>UNE 53-301- Plásticos. Placas onduladas o nervadas translúcidas de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Características y métodos de ensayo.</p> <p>UNE 53-324- Plásticos. Película de poli (cloruro de vinilo) plastificado para invernaderos. Características y métodos de ensayo.</p> <p>UNE 53-328- Plásticos. Película de polietileno de baja densidad para invernaderos. Características y métodos de ensayo.</p>
--	---	---

Ilustración 77. Normas para consulta.

### **3. DISEÑO ESTRUCTURAL**

#### **3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

La construcción del invernadero se llevará a cabo en la parroquia "EL Tablón", un pequeño pueblo situado al sur de Ecuador, en la provincia de Loja.

**Provincia:** Loja **Cantón:** Saraguro **Parroquia:** El Tablón  
**Latitud:** -3.48333 **Longitud:** -79.1667  
**Altura:** 1170

La proyección y diseño del invernadero se realizará en un terreno de tres hectáreas, en el que solo se tendrá en cuenta el invernadero en sí y no instalaciones complementarias como almacén de semillas, fertilizantes, caminos de paso...

La cercanía a las ciudades importantes de la región y el acceso a la vía Panamericana, la más importante de Ecuador (Norte a Sur), lo convierte en un lugar adecuado para establecer relaciones comerciales. Aunque los 58 km a los que se encuentra Loja o los 43 km de Cuenca "no son tan cercanos" por el hándicap de la orografía. Los puertos marítimos con mayor volumen de exportaciones (Manta, Guayaquil) se encuentran a una distancia menor a los 170 km, una distancia relativamente corta lo que podría permitirnos la exportación en caso de ampliar la producción.

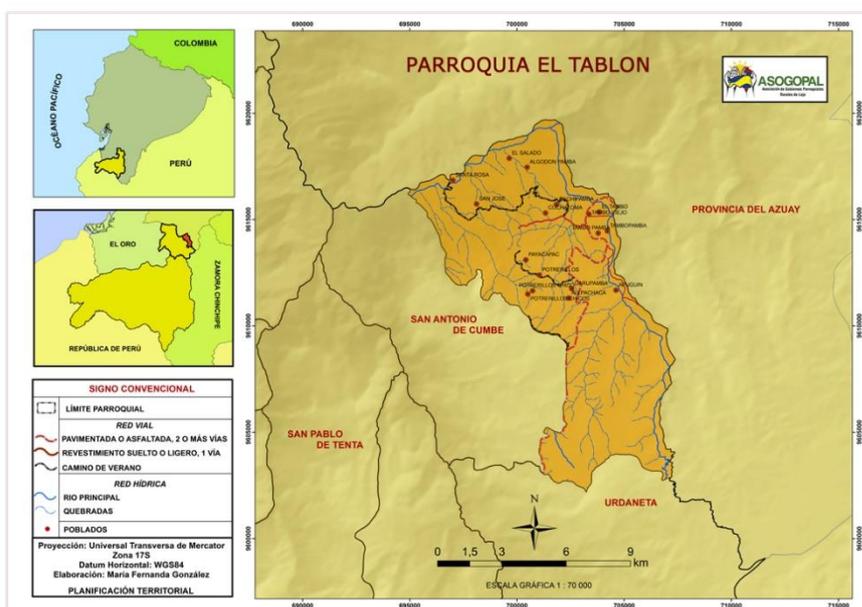


Ilustración 78. Situación geográfica El Tablón.

La **situación hidrográfica** que encontramos en El Tablón no es mala pues posee varias vertientes hidrográficas, de ahí que una buena extensión de terreno aproximadamente el 50% de su área productiva es irrigada con aguas del canal principal que nace en el Río San Felipe y sus vertientes.

Debido a su orografía irregular y la situación geográfica del país, elevada actividad sísmica, existe una serie de **vulnerabilidades y riesgos** potencialmente altos, estos son:

Riesgos ante desastres naturales	Grado
Peligro de deslizamiento	3
Peligro de inundación	1
Peligro sísmico	2
Peligro Tsunami	0
Peligro volcánico	0
Grado sintético de amenaza total	5

Ilustración 79. Vulnerabilidades y riesgos naturales (0-12).

---

**424.16.9**

Diseño estructural

Como nos podemos imaginar, las **actividades principales** son la ganadería y la agricultura. De estos dos el empleo de tierra es el factor de producción que más se lleva a cabo. Sin embargo se siguen empleando utensilios un tanto rudimentarios, de ahí nuestro interés de modernizar la zona con una tecnología relativamente nueva.

## 3.2. ANÁLISIS CLIMÁTICO

El Tablón cuenta con un clima variado, en el que predomina el **clima templado** con temperatura media de casi 15°C. Lo diferencia respecto a los típicos climas templados en que no tiene una época invernal especialmente fría, al contrario, **la temperatura** apenas varía un par de decimas de grados o como mucho 1°C. Los meses con mayor temperatura se presentan a partir del mes de febrero a marzo, aunque la máxima temperatura promedio (16,92°C) se registra en el mes de marzo, la mínima temperatura promedio (12,03°C) en junio. En ningún caso la temperatura es inferior a 1 °C.

**La humedad relativa media** es elevada y tiene un valor de 86.58%, cuya época más húmeda se presenta desde junio a noviembre.

Presenta **precipitaciones** anuales características al clima templado (500 – 1000 mm): 521 mm anuales. La mayor cantidad de precipitación a partir de febrero a abril; la precipitación disminuye desde mayo a septiembre, siendo el mes con menor precipitación agosto con un promedio de 24,4 mm. La niebla es frecuente.

En lo concerniente a la **velocidad del viento**, los meses con menores valores son enero y abril con 3,9 (14.04 km/h) y 4,8 m/s (17.28 km/h) respectivamente; el mes con mayor velocidad corresponde a julio (6,7 m/s, 24.12 km/h). La velocidad media del viento es 5,44 m/s (**19.584 km/h**). En El Tablón predominan vientos del nordeste (NE), sin embargo en los meses de junio a octubre la predominancia cambia de dirección: sureste (SE). De acuerdo a la escala de Beaufort, la zona de influencia del sistema de riego El Tablón se encuentra en la escala 4, denominada **MODERADO**, cuya característica principal se visualiza cuando las ramitas se mueven y se levantan papeles y polvo.

**Heliofanía (horas/día):** presenta un promedio de 4.6 horas de brillo solar, quizás afectado por la nubosidad o niebla.

**Nubosidad (octas):** este valor hace referencia a la octava parte de la bóveda celeste. El mes menos nublado es noviembre (5.8 octas), el mes más nublado es Febrero (6.6 octas). Nubosidad media 6.24 octas.

*Tabla 6. Condiciones climáticas anuales.*

Meses	T Med (°C)	Precip. (mm)	Nubos (Oct.)	T Máx. (°C)	T Mín. (°C)	H R (%)	Dir/Vel viento (m/s)	Heliof. (Horas/día)
Enero	14.95	36.90	6.5	18.10	11.80	84.00	3.90 NE	4.60
Febrero	15.10	66.40	6.6	18.40	11.80	84.00	5.10 NE	4.60
Marzo	15.35	90.10	6.6	18.80	11.90	84.00	5.30 NE	4.60
Abril	14.70	61.70	6.4	17.10	12.30	84.00	4.80 NE	4.60
Mayo	14.25	28.30	6.2	18.10	10.40	86.00	5.00 NE	4.60
Junio	13.75	35.60	6.1	17.10	10.40	89.00	5.40 SE	4.60
Julio	14.40	26.70	6.2	15.60	13.20	89.00	6.70 SE	4.60
Agosto	14.20	24.40	6.3	15.40	13.00	89.00	5.90 SE	4.60
Septiembre	14.05	36.60	6.1	15.30	12.80	89.00	6.30 SE	4.60
Octubre	13.85	41.90	6.1	15.30	12.40	89.00	5.40 SE	4.60
Noviembre	14.10	37.30	5.8	15.90	12.30	87.00	5.90 NE	4.60
Diciembre	15.00	35.10	6.0	17.90	12.10	85.00	5.60 NE	4.60
Sumatoria	173.7	521.0	74.90	203.0	144.4	1039.0	65.3 NE	55.20
Media	14.48	43.42	6.24	16.92	12.03	86.58	5.44 NE	4.60

### 3.3. TIPOS DE SUELO

Ahora bien, ¿cuál será el sistema de cultivo que se debería emplear? Para poder elegir primero debemos analizar el tipo de suelo que encontramos en el invernadero. Para ello analizaremos la aridez del suelo mediante el índice de pluviosidad de Lang I.

$$I = \frac{P}{T}$$

*Fórmula 2. Índice de Lang I.*

P: cantidad anual de precipitaciones (mm/año)

T: temperatura media anual del aire (°C)

$$I = \frac{521}{14.5} = 35.93$$

Mediante este valor podemos ver que se trata de una zona árida con **suelos salinos polvorosos y arenosos** (i = 0 a 40) y suelos amarillos y lateríticos (40 a 60).

### 3.4. DISEÑO DEL INVERNADERO

#### 3.4.1. Tipo de invernadero y su orientación

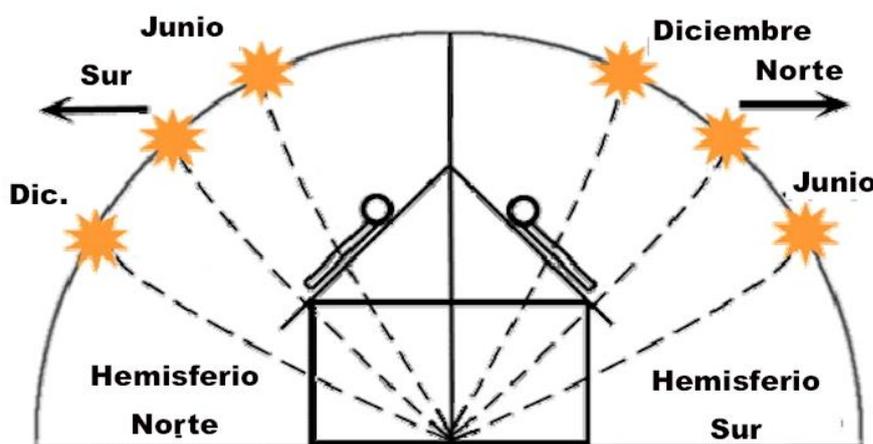
Para la elección del tipo de invernadero se ha estudiado la posibilidad de implementar el tipo Inacral o Asimétrico. ¿Por qué este tipo? Las ventajas que reporta este invernadero vienen dadas por la geometría de la cubierta. Esta inclinación aumenta la captación de radiación en los meses de menor incidencia solar y por tanto aumento de la temperatura. También es importante el hecho que este invernadero también reciba el nombre de "tropical", porque está muy extendido en este tipo de regiones, con temperaturas cálidas y elevada humedad.

La orientación del invernadero es designada por la dirección del eje longitudinal del módulo o eje de cumbrera. Su elección depende de si deseamos tener la mayor

captación posible de radiación solar u optimizar la ventilación natural. En las latitudes como la de la provincia de Almería se recomienda una orientación E-O, para invernaderos con alta pendiente, esta orientación proporciona una mayor captación de sol que la orientación N-S.

Se ha decidido priorizar el aprovechamiento del viento para minimizar el empleo de equipamiento de regulación de temperatura. Este fluye en dirección Noreste, por lo que colocaremos el invernadero con orientación **Sudeste-Noroeste**.

Ahora analizaremos la incidencia del sol en las diferentes estaciones del año. Primero tendremos en cuenta que al estar situado en una latitud muy neutral, las radiaciones incidirán de manera perpendicular sobre la superficie durante todo el año. Esto no ocurre en latitudes más alejadas de la línea ecuatorial o ecuador terrestre: en el hemisferio norte este ángulo de incidencia o altura solar es inferior, dependiendo de la latitud en la que nos encontremos, ambos solsticios se sitúan en el Sur terrestre, siendo el mes de Junio cuando más radiaciones perpendiculares recibirá. Esta diferencia de posición se debe al movimiento terrestre alrededor del sol. En cambio en el hemisferio sur ocurre lo contrario, los solsticios se sitúan en el Norte terrestre, recibiendo radiaciones más perpendiculares a la superficie terrestre durante el mes de Diciembre.



*Ilustración 80. Posición del sol en ambos hemisferios.*

Como ya se mencionó en la **zona ecuatorial**, esta franja se reparte entre las dos orientaciones, es decir la mitad de meses en el Norte terrestre y la mitad en el Sur. En la siguiente imagen podemos apreciar la localización de sol en los distintos meses:

424.16.9

Diseño estructural

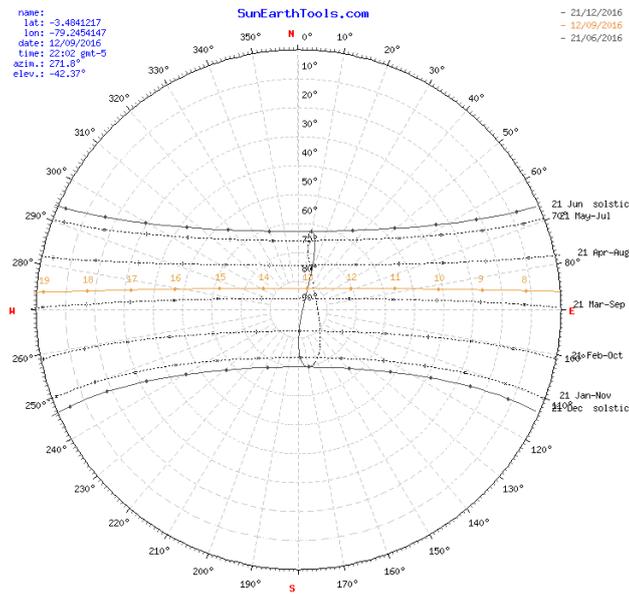
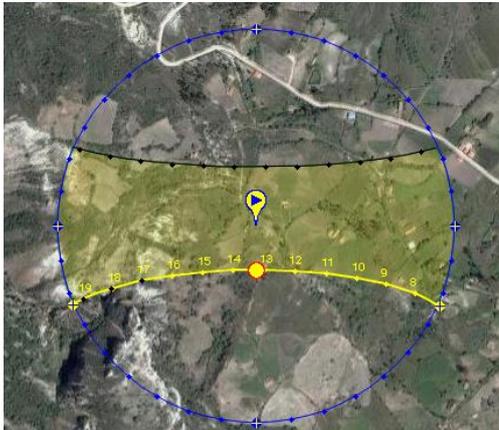


Ilustración 81. Posición del sol zona ecuatorial.

Ahora analizaremos los ángulos con los que incide el sol, dependiendo de la época del año en la que nos encontramos, para deducir el lugar de colocación de la cara sur de nuestro invernadero y maximizar la poca radiación que permiten las 6.6 cotas de nubosidad.

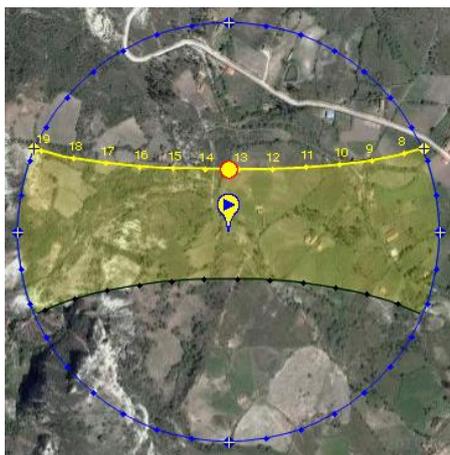
Es el verano (Diciembre, Enero y Febrero) la época en la que hay más horas de sol, 12 horas y 19 minutos. El sol transcurre de Este a Oeste por la zona Sur terrestre con una altura solar de 69.96°.

Para que se aproveche al máximo esta radiación el ángulo de la cubierta debería tener un valor de **20°02'24"** (ángulo recomendado: **8-11°**).



sol" posición ⓘ	Elevación	Azimut
22/12/2016 13:08   GMT-5	69.96°	174.85°
crepúsculo ⓘ	Sunrise	Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	07:05:52	19:25:29
crepúsculo civil -6°	06:43:14	19:48:05
Náutica" crepúsculo -12°	06:16:49	20:14:30
El crepúsculo astronómico -18°	05:50:11	20:41:08
la luz del día ⓘ	hh:mm:ss	diff. dd+1
22/12/2016	12:19:37	-00:00:01

En los meses de Junio, Julio y Agosto encontramos la época con menos horas de sol, aunque el ángulo de incidencia es algo menor:  $62.96^\circ$ . El ángulo de cubierta ideal tiene que ser de  **$27^\circ 2' 24''$  (ángulo recomendado:  $18-30^\circ$ )**.

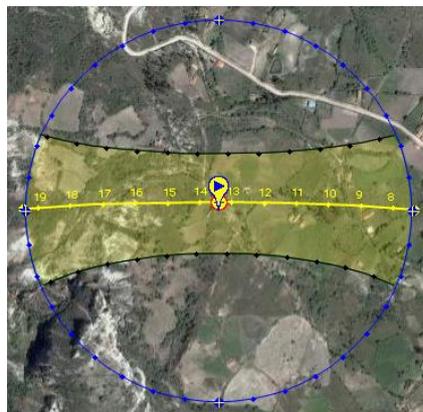


sol" posición ⓘ	Elevación	Azimut
21/06/2016 13:08   GMT-5	62.96°	5.42°
crepúsculo ⓘ	Sunrise	Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	07:21:03	19:16:23
crepúsculo civil -6°	06:58:29	19:38:55
Náutica" crepúsculo -12°	06:32:20	20:05:04
El crepúsculo astronómico -18°	06:06:08	20:31:16
la luz del día ⓘ	hh:mm:ss	diff. dd+1
21/06/2016	11:55:20	00:00:01

Durante el resto del año, el sol está durante la franja mencionada, es decir recorre desde los  $27^\circ 2'$  Norte hasta los  $20^\circ 2'$  Sur. De esta forma el sol incidirá más perpendicular sobre la superficie de la tierra.

**424.16.9**

Diseño estructural



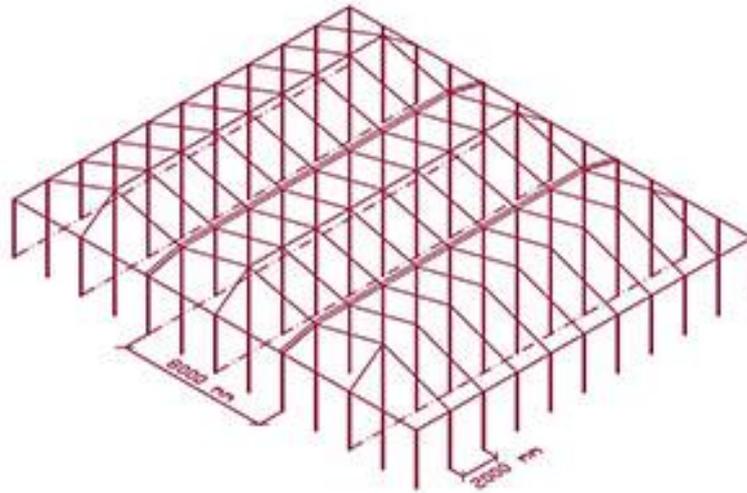
sol" posición	Elevación	Azimut	sol" posición	Elevación	Azimut
21/03/2016 13:23   GMT-5	85.91°	2.65°	23/09/2016 13:08   GMT-5	86.96°	4.31°
crepúsculo	Sunrise	Puesta de sol	crepúsculo	Sunrise	Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	07:20:36	19:26:51	crepúsculo -0.833°	07:05:34	19:12:18
crepúsculo civil -6°	06:59:53	19:47:31	crepúsculo civil -6°	06:44:51	19:32:58
Náutica" crepúsculo -12°	06:35:51	20:11:33	Náutica" crepúsculo -12°	06:20:49	19:57:01
El crepúsculo astronómico -18°	06:11:48	20:35:36	El crepúsculo astronómico -18°	05:56:46	20:21:04
la luz del día	hh:mm:ss	diff. dd+1	la luz del día	hh:mm:ss	diff. dd+1
21/03/2016	12:06:15	-00:00:12	23/09/2016	12:06:44	00:00:12

Tras haber analizado las posiciones del sol, se ubicaría la cara con la menor inclinación del invernadero en el Suroeste, primero por la inclinación del sol y segundo por aprovechar las radiaciones del sol por la tarde durante la época de verano (D-E-F) permitiendo que se mantenga una temperatura cálida cuando se pone el sol. Durante la época de invierno, más lluvia y temperaturas algo más bajas, es por la mañana cuando más se recibe las radiaciones del sol, permitiendo un buen calentamiento desde una hora temprana. El deseo de maximizar la incidencia del sol se debe a la gran cantidad de nubes, pues hay 6.6 octas de media.

**El hecho de no tener en cuenta las recomendaciones de inclinación Sur de 8-11° e inclinación Norte de 18-30° se puede justificar teniendo en cuenta que el viento tiene baja intensidad.**

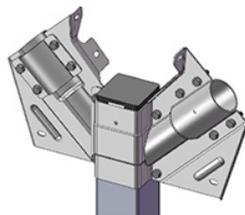
Sin embargo, el hecho que el ángulo de incidencia del sol, casi todo el año de forma perpendicular, se considera que **los invernaderos propicios son del tipo túnel o raspa y amagado**, manteniendo la orientación ya descrita: Sudeste-Noroeste.

Ahora bien, el invernadero que nos permite mayor aprovechamiento del espacio es el de raspa pues podremos emplear macetas para cultivar en lo alto. Además la forma de la cubierta, además de permitir la evacuación del agua de lluvia, tiene una inclinación moderada (**6 y 20°**), siendo adecuada por la incidencia del sol.



*Ilustración 82. Estructura invernadero raspa y amagado.*

La parte más alta de la cubierta "raspa" (3 y 4.2 m) está sostenida mediante tubos galvanizados (larga vida útil y resistencia al peso) o de perfiles laminados y alambres o trenzas de hilos de alambre. Los amagados (2 y 2.8 m) se unen a la estructura mediante horquillas de hierro sujetas a la base del invernadero. Hay que tener en cuenta que la altura no puede ser menor a 2.5 metros.



**Pilares:**

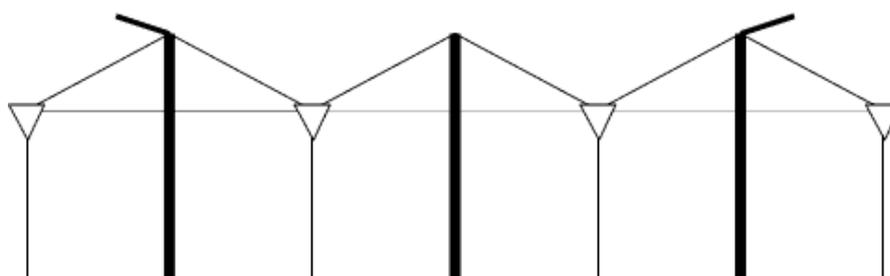
- ✓ Pilares Perimetrales: Tubo redondo galvanizado en caliente
- ✓ Pilares interiores: Tubo redondo galvanizado en caliente

*Ilustración 83. Pilares.*

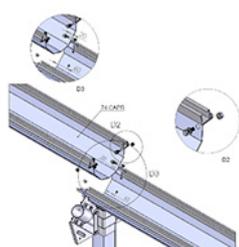
**424.16.9**

Diseño estructural

Se pueden unir dos amagados con canalones de evacuación de agua. Deben ser capaces de resistir una carga puntual de hasta 980 N (100 Kgf) en el centro de la distancia entre los apoyos del canal.



*Ilustración 84. Lugar de colocación de canales.*



**Canales**

- ✓ **Función:** evacuación del agua de lluvia.
- ✓ El volumen de agua capaz de desalojar es función del desarrollo de la chapa con la que se fabrica

*Ilustración 85. Canales.*

Las puertas tendrán una dimensión mínima de 1.5 x 2.40 m para una sola hoja y de 3 x 2.40 para puertas de dos hojas. También se puede instalar puertas automáticas.

Debe tener una estructura metálica anclada a una cimentación: bloques cilíndricos de hormigón fabricados in situ, colocados sobre pequeños pozos de cimentación. Van sumergidos a una profundidad mínima de 0.80 m y los tirantes a 1.20.

**Largura de 20 metros.**

Dimensiones finales: **Anchura de 8 metros.**

**Altura en raspa de 4 y amagado de 2.8 metros.**

### 3.4.2. Material de Cubierta

El material de cubierta utilizado es uno de los factores que influyen de forma decisiva en las necesidades de calefacción o refrigeración de las plantas cultivadas en los invernaderos. El mantenimiento de una temperatura que garantice la viabilidad y el crecimiento del cultivo es un objetivo de los agricultores en todo tipo de climas.

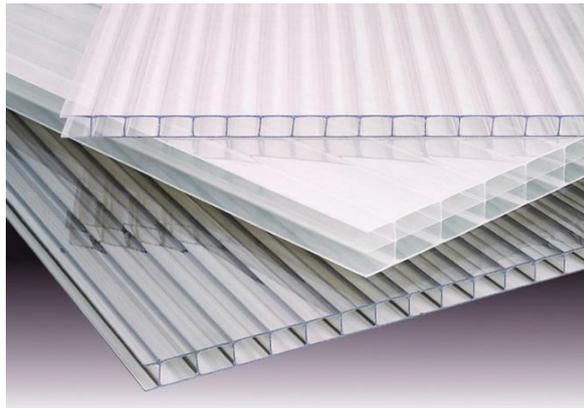


Ilustración 86. Policarbonato celular.

Analizando todas las condiciones que necesitaremos se ha elegido el **policarbonato celular (PC)**. Las propiedades físicas más destacables son las siguientes:

- Estas placas que pueden tener un espesor de 4 a 16 mm, tienen buena resistencia al impacto (granizo, piedras, etc...).
- Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos que el vidrio, a igualdad de espesor.
- La perfecta estanqueidad del invernadero permite evitar fugas de gases, como CO<sub>2</sub> o calefacción; sin embargo esto requiere un acondicionamiento de la infraestructura con el fin que las placas queden lo más selladas herméticamente posible.
- Pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave.

La duración de las placas de policarbonato celular está garantizada por los fabricantes en 10 ó 15 años.

En la siguiente imagen podemos ver las propiedades térmicas de los distintos materiales de cubierta que podemos encontrar, en la que encontramos propiedades como la absorbividad ( $\alpha$ ), emisividad ( $\epsilon$ ), transmisividad ( $\tau$ ) y reflectividad ( $\delta$ ).

424.16.9

Diseño estructural

Materiales utilizados en cubiertas simples, en dobles paredes o como pantallas térmicas	Espesor (mm)	Radiación solar (300-2.500 nm)			Radiación visible (380-760 nm)			Radiación térmica (2.500-40.000 nm)			U (W/m <sup>2</sup> ·°C)	ρc (g/cm <sup>3</sup> )
		(α = ε)	(τ)	(δ)	(α = ε)	(τ)	(δ)	(α = ε)	(τ)	(δ)		
Vidrio hortícola (VH)	4	0,03	0,89	0,08	0,01	0,91	0,08	0,90	0,00	0,10	6,7	2,40
Poliéster (PRV)	1	0,01-0,02	0,89-0,92	0,07-0,09	0,01	0,93	0,06	0,64-0,69	0,27-0,32	0,04		1,50
PVC rígido	18	0,11	0,62	0,27	0,02	0,61	0,37	0,92	0,01	0,07	3,8	1,30
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	8	0,06	0,82	0,12	0,01	0,92	0,07	0,98	0,00	0,02	3,4	1,19
Polycarbonato (PC)	4	0,08-0,11	0,78	0,14-0,15	0,06-0,10	0,75-0,79	0,15	0,89-0,98	0,02-0,03	0,09	3,5	0,17-0,20
Poliétileno sin aditivos (PE)	0,1	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,04-0,19	0,79-0,84	0,02	9,1	0,92
Poliétileno de baja densidad (PEbd)	0,18	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,13-0,40	0,53-0,80	0,07	9,4-16,2	0,91
Poliétileno de larga duración (PEld)	0,1	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,20-0,40	0,53-0,76	0,07	9,4-16,2	0,92
Poliétileno infrarrojo (PEir)	0,1	0,03	0,89	0,08	0,01	0,89	0,10	0,77	0,20	0,03	8,6-13,0	0,92
Poliétileno térmico (PET)	0,18	0,03	0,89	0,08	0,02	0,90	0,08	0,80	0,10	0,03	8,6-13,0	0,92
Copolímeros EVA	0,1	0,02	0,89-0,91	0,07-0,09	0,00	0,90-0,92	0,08-0,10	0,42-0,58	0,39-0,55	0,03	7,8	0,94

Ilustración 87. Propiedades térmicas de materiales de cubierta.

Con el fin de tener ahorro energético se aconseja que la transmisividad o transmitancia a la radiación solar sea superior al 80%, teniendo nuestro termoplástico **poli-carbonato celular (PC)** un valor de 78-83%. De este modo se le permite mayor paso de energía procedente de radiación solar y sea fuente de calor para estimular el proceso de crecimiento. La radiación solar directa es mayor cuando más perpendicular incida sobre la cubierta del invernadero.

En cuanto a la transmisividad máxima a la radiación infrarroja se aconseja que sea inferior al 50% de forma que se impida que la radiación infrarroja que emiten las plantas y suelo salga, lo que implica pérdida de calor. El PC tiene unos de los valores más bajos que hay, tan solo un 2-3%, superado únicamente por el vidrio hortícola.

El paso de radiación visible no cuenta con los mejores valores (75-79%), lo que no quiere decir que sea malo, confirmándonos la buena elección realizada. Este material se caracteriza por ser antigoteo y anticondensación aumentando su higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) de forma que, al condensar el agua sobre ellos, lo haga en forma de lámina continua aumentando la transmisión de luz visible hasta en un 30%. Las placas de PC presentan adherencia mínima de la suciedad y, con un poco de lluvia, la placa, a los seis meses de colocada, tiene un paso de luz de más del 90%. Además

hemos de tener en cuenta que la deficiencia de transmisividad de radiación visible se puede paliar con iluminación artificial.

Centrándonos ahora en la emisividad, nos interesa que nuestro material sea lo más bajo posible en cuanto a la radiación solar y visible, pues este valor expresa la radiación emitida por la superficie de un cuerpo, por tanto, mientras menos emisividad menos repulsará la radiación por reflexión; el valor del PC es uno de los más altos (8-11%). Por el contrario, es valor es positivo para para la radiación térmica pues hace que se mantenga la radiación infrarroja en el interior (89-98%) manteniendo el calor.

En cuanto a la reflectividad o reflectancia, nos conviene que un material absorba y emita la mayor cantidad de calor en el interior. El PC cumple de sobra con nuestras expectativas; por ejemplo, la reflectividad de radiación de luz visible se encuentra en el 15%.

Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una **película que protege de los rayos ya que** no son favorables para los procesos de crecimiento, produciendo quemaduras y necrosis.

### 3.4.3. *Malla anti-insectos*

A la hora de seleccionar la malla anti-insectos tendremos en cuenta las siguientes cuestiones:

- Saber si limitan las plagas.
- Uniformidad.
- Durabilidad, o sea que mantengan sus propiedades durante su vida útil.
- Conocer el efecto sobre la ventilación, lo cual afecta la temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub> y luz.

La elección se basará sobre todo en el efecto sobre los las plagas, es decir, que se minimice o se elimine por completo la proliferación de insectos vectores de virus. Para ello tendremos en cuenta el tamaño de estos insectos.

**424.16.9**

Diseño estructural

*Tabla 7. Tamaño máximo de los poros de una malla para exclusión de insectos.*

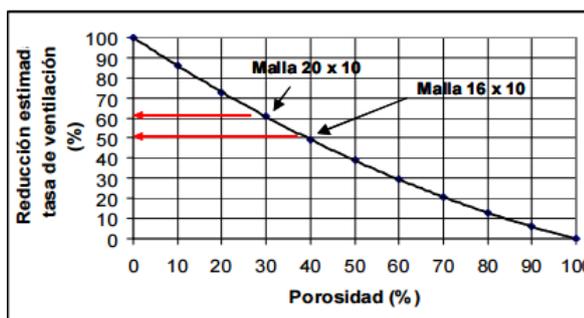
Nombre común	Especie	Tamaño del tórax ( $\mu\text{m}$ )	Ancho máximo ( $\mu\text{m}$ )	Tamaño máximo de poro ( $\mu\text{m}$ )	Superficie máxima del poro ( $\text{mm}^2$ )
<b>Trips</b>	Frankliniela occidentalis	215	265	192	0.03
<b>Mosca blanca</b>	Bermisia argenti.	239	565	239	0.05
	Bemisia tabci	---	---	462	0.21
	Trialeurodes vapo.	288	708	288	0.08
<b>Pulgón</b>	Alphis gossypü	355	2394	340	0.12
<b>Minador</b>	Liriomyza trifolü	608	850	640	0.41

La efectividad de las mallas anti-insectos se ha estudiado en laboratorio comparando el tamaño y geometría de los poros con respecto a la anchura torácica de los insectos en ausencia de una corriente de aire forzada. También se han realizado ensayos en túnel de viento para determinar la efectividad de varios tipos de mallas. En la siguiente tabla podemos ver la efectividad de algunos tipos.

*Tabla 8. Eficacia de diferentes tipos de mallas.*

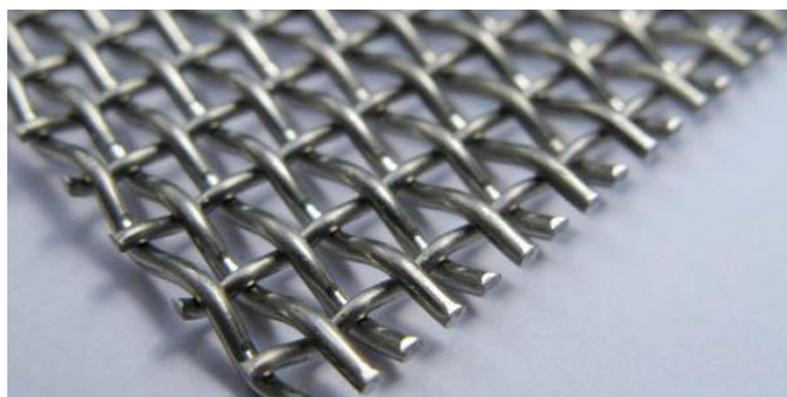
Tipo de malla	Grosor de hilo (mm)	Tamaño medio de hueco (mm)	Exclusión de mosca blanca (%)	Exclusión de trips (%)
<b>40 x 40</b>	0.10	0.15 x 0.15	89.7 $\pm$ 2.1	75.5 $\pm$ 11.8
<b>32 x 32</b>	0.17	0.14 x 0.14	86.5 $\pm$ 5.0	94.8 $\pm$ 3.5
<b>20 x 32</b>	0.16	0.15 x 0.34	92.7 $\pm$ 1.5	22.3 $\pm$ 14.6
<b>20 x 20</b>	0.16	0.35 x 0.35	93.9 $\pm$ 3.5	4.2 $\pm$ 15.0
<b>16 x 16</b>	0.20	0.43 x 0.43	71.5 $\pm$ 36.1	15.8 $\pm$ 13.7
<b>12 x 12</b>	0.22	0.65 x 0.65	12.5 $\pm$ 21.9	18.8 $\pm$ 13.9
<b>10 x 20</b>	0.26	0.26 x 0.81	73.1 $\pm$ 17.6	18.0 $\pm$ 14.6

Podemos ver que las mallas 32x32 y la 40x40 son efectivas contra la exclusión de trips y mosca blanca; sin embargo se reduciría en gran medida la ventilación (mucho más del 33%), por lo que se elegirá una malla con menor número de hilos. Eso sí se aumentará, no mucho, tanto el grosor de hilo como el tamaño de hueco.



*Ilustración 88. Efecto de la porosidad sobre la ventilación.*

**Se considera que la malla 24x12 hilos/cm<sup>2</sup> con diámetro de hueco de 0.24 mm y diámetro de hilo 0.19 resulta más que eficiente en exclusión y ventilación.** En cuanto al material de la malla ha de ser metálica con naturaleza inoxidable (acero inoxidable), aunque también puede ser de aluminio, latón, bronce fosforoso y acero galvanizado. La idónea es la malla **MESH 63**.



*Ilustración 89. Malla Mesh.*

**424.16.9**

Diseño estructural

*Tabla 9. Mallas según ISO 9044.*

Mesh	Hilo (mm)	Hueco (mm)
60	0.18	0.25
63.50	0.16	0.24
70.20	0.18	0.93

### *3.4.1. Pantallas térmicas*

De modo teórico ya se ha mencionado las funciones de las pantallas térmicas, ahora bien, ¿Cuáles son las que más convienen en nuestro caso?

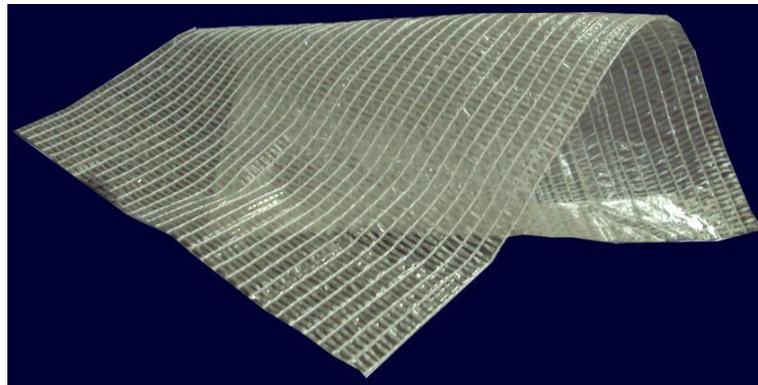
Debido a la irregularidad de horas de sol que se pueden llegar a tener (6.6 octas media), quizás lo más conveniente sean las llamadas pantallas de ahorro energético. Sin embargo, teniendo en cuenta las necesidades de cultivo se opta emplear pantallas de polietileno con una o dos caras aluminizadas para que dé sombra y retenga el calor acumulado al mismo tiempo, suponiendo un gran ahorro energético. Así en el caso que se requiera mantener la temperatura constante durante el resto de día o se quiera actuar sobre el fotoperiodo de las plantas, se empleará desde primera hora de la mañana hasta finalizar el día. En el caso que se requiera altas tasas de luminosidad se prescindirá de las mismas para emplear otro método de retención de calor o empleando las pantallas pero con iluminación artificial.

Materiales	Transmisión- Reflexión de luz solar* (%)	Transmisión- Reflexión de radiación infrarroja (%)	Difusión solar (%)	Ahorro de energía (%)
Poliétileno de baja densidad	84-14	42-5	80	32,5
Poliéster tejido	39-58	5-2	29	42,0
Poliéster aluminizado al 50%	37-68	18-18	32	-
Poliéster aluminizado al 75%	19-68	9-27	16	-
Poliéster aluminizado al 100%	0-82	0-36	0	46,5

\* Ángulo de incidencia de la luz solar de 45°

*Ilustración 90. Propiedades de diferentes tipos de pantallas.*

El material elegido es el poliéster dotado de una fina capa de aluminio entretejida entre sí con hilo de acryl (**AUPP 20**). Tiene un ahorro energético del 45 % y la designación 20 hace referencia al porcentaje de sombreo.



*Ilustración 91. AUPP 20.*

Tener en cuenta al instalar la red de sombreo es que, a menudo, se provoca una disminución de los intercambios de aire entre la zona de vegetación y el medio exterior.

**El sombreo y la ventilación tiene que ir asociados.**

### **3.4.2. Ventilación**

La ventilación es esencial en el control de casi todas las variables que afectan el crecimiento del cultivo. Se considera que la superficie que deben tener las ventanas debe estar comprendido entre el 22% y 30% de la superficie cubierta.

*Superficie total de la cubierta: 160 m<sup>2</sup>*

*22% de la superficie cubierta: 35.2 m<sup>2</sup>*

*30% de la superficie cubierta: 48 m<sup>2</sup>*

La superficie de las ventanas ocuparán una superficie de 35.2 m<sup>2</sup> hasta 48 m<sup>2</sup>. Este valor se considera sin ningún tipo de impedimento de circulación, por ejemplo las mallas anti-insectos. Al contar con dicha malla será necesario aumentar esta superficie o disponer las superficies de ventilación de manera estratégica. Está claro pues, que las ventanas cenitales tendrán al menos 1 m de ancho, además de ventanas laterales de al menos 2 m de altura en todo el perímetro para conseguir la renovación solo entre 15 y 30 veces por hora de las 45 y 60 recomendadas. Por ser invernadero de pequeñas dimensiones, la superficie de ventanas laterales será igual al área correspondiente de las aberturas ubicadas en el techo.

Dicho esto, de los **48 m<sup>2</sup>** de la superficie total cubierta, en cada lateral habrá una ventana de **24 m<sup>2</sup>**. Para hallar ambas componentes (medida horizontal y vertical) es importante tener en cuenta que a los 20 m de largo hemos de restar 0.5 m +0.5 m = 1 m para asegurarnos una buena hermeticidad en los extremos.

$$24 m^2 = 19 m \cdot altura de ventana$$

$$altura de ventana = 1.26 metros$$

Para cumplir con la recomendación concerniente a la altura de las ventanas laterales y teniendo en cuenta que es casi obligatorio colocar mallas anti-insectos colocáramos tanto ventanas laterales como cenitales de **19 m de largo por 2 m de alto**. Los 80 cm sobrantes en los laterales los situaremos en el suelo para que el aire no caiga directamente sobre el cultivo pues podría estropearlo en caso de ser vientos un tanto fuertes. Así cumpliríamos con la recomendación de que la entrada de aire debe estar a una altura no menor de 70 cm desde donde se encuentra el cultivo.

Para máximo aprovechamiento, **las ventilaciones tienen que ser abatibles en el techo y enrollables o de guillotina en el perímetro, para aprovechar de manera lateral la dirección del viento.**

Ahora bien, ¿cuál es el efecto de la malla anti-insectos **MESH 63**, en la ventilación? Para determinarlo hallaremos primero el número de hilos para hacernos una idea de la cantidad de hilos que hay por cada centímetro.

$$0.25 = \frac{10}{N} - 0.18$$

$$N = 25 \text{ hilos/cm}$$

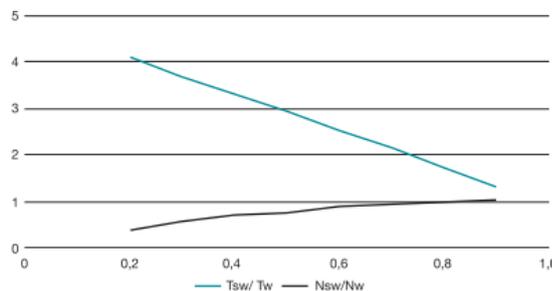
A continuación, hallamos la porosidad ( $m^2/m^2$ ). Este factor no es exacto porque el valor Mesh no indica el número de hilos por cada  $cm^2$  (área), sino en un solo eje (X o Y). Mejor dicho el valor se atribuye a mallas cuadradas.

$$\varphi = \frac{L_x \cdot L_y}{(L_x + D) \cdot (L_y + D)}$$

$$\varphi = \frac{2.4 \cdot 10^{-4} \cdot 2.4 \cdot 10^{-4}}{(2.4 \cdot 10^{-4} + 1.6 \cdot 10^{-4}) \cdot (2.4 \cdot 10^{-4} + 1.6 \cdot 10^{-4})}$$

$$\varphi = 0.6; \quad 60\%$$

Con esta porosidad superior al 40% se asegura que no se produce una disminución en exceso de la ventilación, de hecho lo podemos ver en la siguiente gráfica (línea de color negro). Si se produce un mayor efecto en la temperatura del interior (línea azul). Cuanta mayor porosidad menor diferencia entre en interior y exterior del invernadero.



*Ilustración 92. Cambio de tasa de ventilación normalizada ( $N_{sw}/N_w$ ) y de la diferencia de temperatura ( $T_{sw}/T_w$ )*

La orientación de las ventanas que abren cara al viento (barlovento) favorece la ventilación respecto a las ventanas situadas a sotavento (de espaldas al viento), especialmente si son abatibles. Cuando el viento crece, la ventana cenital que se debe abrir

---

**424.16.9**

Diseño estructural

más es la opuesta a la dirección del viento. Ventilación estática a sotavento de alta eficiencia para la adecuación y manejo del clima interior del invernadero.

La succión creada por el viento exterior ayuda a salir el aire del invernadero, pues es arriesgado abrir la ventana de cara al viento. Si se producen vientos fuertes, todas las ventanas deben cerrarse para evitar su rotura. Con respecto a la orientación de las ventanas se puede producir que en las orientadas a barlovento se consigue de un 35% a 60% más renovaciones que en las orientadas a sotavento, a velocidades de viento de 2 y 7 m/s respectivamente.

### *3.4.3. Humedad*

Ya se comentó la importancia de saber la presión de vapor que rodea la hoja para que la planta pueda efectuar el proceso de transpiración. El DPV es una manera útil para evaluar la amenaza de enfermedades, el potencial de condensación y las necesidades de un cultivo.

Un DPV más alto significa que el aire tiene mayor capacidad de retener agua, estimando así la transferencia del vapor de agua (transpiración) al aire en esta condición de baja humedad. Un DPV más bajo, por otro lado, conlleva un nivel de saturación del aire completa o casi completa, de manera que el aire no puede aceptar humedad de la hoja en esta condición de alta humedad, produciéndose deposición de agua líquida en algún lugar del sistema hídrico.

Este valor se expresa en kilopascales (kPa) y hablando un poco sobre los patógenos fúngicos, sobreviven por debajo de 0.063 psi (DPV: <0.43kPa). Además, la infección de enfermedades en una planta resulta en mayor daño por debajo de 0.030 psi (0.20kPa). Entonces, el clima de un invernadero debe mantenerse más alto que 0.030 psi (0.20 kPa), para prevenir enfermedades y daño del cultivo. Ya que el valor de DPV está relacionado con la humedad y temperatura, en la siguiente tabla vemos algunos valores de humedad y temperatura para prevención de enfermedades de DPV, 0.030 psi (0.20kPa). **0.5-2kPa**

Tabla 10. Umbrales de HR para prevención de enfermedades correspondiente al 0.030 psi (0.020kPa) DPV.

Temperatura °C	Umbral de humedad relativa
10°C	83.0 %
16°C	89.0 %
20°C	91.5 %
30°C	95.5 %

Para saber si nos encontramos en un valor adecuado mediríamos tanto la humedad y temperatura que rodea la planta como la del ambiente dentro del invernadero. Tras estas mediciones se sustituiría en la fórmula de DPV. Se intentará conseguir la humedad y temperatura recomendadas para el cultivo mediante las pantallas térmicas y la ventilación natural y forzada. Durante estas medidas se comprobaría mediante la fórmula de DPV que las medidas empleadas son las adecuadas.

$$e_0(T_{max}) = 0.610 \cdot e^{\left(\frac{17.27 \cdot T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right)}$$

$$e_0(T_{min}) = 0.610 \cdot e^{\left(\frac{17.27 \cdot T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right)}$$

$$e_s = \frac{e_0(T_{max}) + e_0(T_{min})}{2}$$

$$e_a = \frac{e_0(T_{min}) \cdot \frac{HR_{max}}{100} + e_0(T_{max}) \cdot \frac{HR_{min}}{100}}{2}$$

$$DPV = e_s - e_a$$

Fórmula 3. Cálculo DPV.

$HR_{min}$ : humedad relativa mínima (%).

$HR_{max}$ : humedad relativa máxima (%).

---

**424.16.9**

Diseño estructural

$e_0(T_{min})$ : presión de vapor de saturación a temperatura mínima (kPa).

$e_0(T_{max})$ : presión de vapor de saturación a temperatura máxima (kPa).

$T_{max}$ : temperatura del aire diaria máxima (°C).

$T_{min}$ : temperatura del aire diaria mínima (°C).

$e_s$ : presión de vapor a saturación (Kpa).

$e_a$ : presión de vapor actual (Kpa).

El sistema de este proyecto se basará en la obtención de la variable de humedad del ambiente, mas no el de las proximidades del cultivo. Ahora bien en el caso de contar con humedad insuficiente, emplearíamos un sistema de nebulización (fog system) mediante la señal de control enviada por el microcontrolador, dejando pasar el agua que terminará saliendo en forma de partículas pequeñas a través de las boquillas.

Así mismo, se permitirá el funcionamiento de la ventilación pues sería un error cerrar las ventanas o apagar los ventiladores cuando los nebulizadores u otros equipos similares están en funcionamiento, ya que la ventilación aumenta la eficacia de los equipos evaporadores.

El proceso de nebulización se aplicará durante al menos 2 segundos, aunque este intervalo se puede cambiar ya que al pequeño indicio que se moja la planta lo variaremos pues en ningún caso la planta podría resultar mojada.

El tamaño de las gotas de agua debe ser lo suficientemente pequeño para que se evaporen sin llegar a mojar las plantas. Se consideran óptimos tamaños de gota entre 0.5 y 50 micras.

De los diferentes tipos de sistemas de nebulización, de agua alta presión, de agua a baja presión y sistemas agua/aire, se ha decidido emplear el sistema **a alta presión (>70 bares)**, pues está demostrado que resulta un 69% más eficiente evaporando el agua (menos riesgo de mojado) y un 28% más eficiente disminuyendo la temperatura del aire que el sistema de agua a baja presión. Para aguantar los 70 bares las tuberías deben ser de cobre o acero.

En cuanto a los difusores, tenemos dos candidatos: los de cámara de turbulencia cuyo tamaño de gota es de 1 µm y los de aguja con un tamaño de gota sobre los 10 µm. Se considera que los **difusores de aguja son los adecuados**.

Antes de realizar ningún cálculo tendremos en cuenta el consumo de las toberas a 70 bares.

*Tabla 11. Consumo de las toberas a 70 bares.*

	Tamaño orificio (mm)	Consumo de agua (l/h)	Tamaño medio de la gota (µm)
<b>Seca</b>	<b>0.20</b>	<b>5.34</b>	<b>12.7</b>
<b>Húmeda</b>	<b>0.30</b>	<b>8.70</b>	<b>13.1</b>
	<b>0.40</b>	<b>10.68</b>	<b>13.8</b>

Cálculo de toberas:

$$n^{\circ} \text{ toberas} = \frac{m^2}{2}$$

$$n^{\circ} \text{ toberas} = \frac{160 m^2}{2} = 80$$

Este valor lo multiplicamos por 0.8 y 1.2

$$80 \cdot 0.8 = 64$$

$$80 \cdot 1.2 = 96$$

La bomba nos tiene que proporcionar entre:

$$64 \cdot 8.70 \frac{l}{h} = 556.8 \frac{l}{h}$$

$$96 \cdot 8.70 \frac{l}{h} = 835.2 \frac{l}{h}$$

**424.16.9**

Diseño estructural



Dimensiones:  
L=650 A=440 H=340mm

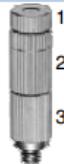
PROFESSIONAL (Nº boquillas: 75 a 150 - Caudal: 8 a 12 l/h)			
8	1800	75 – 100	
10	2050	100 – 125	
12	2200	125 – 150	
PROFESSIONAL TIME			
8	1800	75 – 100	
10	2050	100 – 125	
12	2200	125 – 150	

- Pequeño recipiente con flotador en la alimentación bomba
- Temporizador digital profesional que permite un control total de la niebla mediante el ajuste directo de la frecuencia de los disparos de niebla.

Ilustración 93. Bomba nebulización.

El modelo que encaja con nuestros requerimientos es el *modelo profesional* para un caudal de 8 l/h, pues suministra a 75 y 100 boquillas o toberas. El motor de la bomba tiene una alimentación de **230 V con un funcionamiento a 1450 rpm**. El material de cubierta es acero resistente a la intemperie con juntas antivibraciones. La bomba puede estar colocada en una distancia de hasta 100 metros sin pérdida de presión.

Conjunto Inox con boquilla estándar		
1		0,15
2	con filtro de <b>25 Micras</b> y válvula antigoteo	0,20
3	(Juntas de VITÓN)	0,30
		0,40



Rosca macho 10/24"

Ilustración 94. Boquilla nebulización.

La altura del sistema debe ser aquella que asegure que las gotas de agua producidas se evaporen y enfríen el aire antes de descender al nivel del cultivo (2.5-3 m). Las recomendaciones de los fabricantes es que si se emplean tobera de 0.3 mm la altura preferente debe ser de 3 o más metros. Las líneas de toberas deben estar distanciadas entre si unos 5 metros con toberas cada 2-3 m. las líneas centrales tendrán el doble de toberas y la mitad mirando a cada lado.

El control del sistema de nebulización se realiza a través de una electroválvula. Este dispositivo emplea un solenoide para conmutar el estado de una válvula cuando se magnetiza al excitarse eléctricamente. La electroválvula elegida es de latón (PN100), de 3/8"H x 3/8"H BSP y funciona con 230V y 50 Hz. La salida del control puede también dirigirse al contactor o relé de arranque/parada del equipo.



**Electrovalvula latón NC (PN100)**  
**230V 50Hz**

3/8"H x 3/8"H BSP

*Ilustración 95. Electrovalvula PN100.*

### 3.4.4. *Malla cubresuelo*

En algunos casos, dependiendo del color, pueden tener propiedades más acentuadas. Así, las de color negro confieren más calor y las blancas reflejan más los rayos solares. Por tanto, dependiendo del ciclo de cultivo o de las propiedades que más se adapten a nuestras necesidades, serán utilizadas unas u otras.

Elegido **AGMU 2010** (color negro, 100 g/m<sup>2</sup>): tejido plano de polipropileno (PP) con UV. El color negro permite la absorción de la mayor cantidad de radiación incidente sobre la superficie calentando el suelo. Disminuye el lavado de nutrientes y la producción de CO<sub>2</sub> y mantiene la frescura del suelo. Por su opacidad, permite el paso del 0.5% de luz impidiendo que la maleza brote y se desarrolle. El intercambio de gases es fluido, lo que impide la formación de hongos. Con estas ventajas se evita el uso de herbicidas y pesticidas. Es permeable al agua y reduce la evaporación de aguas superficiales, mejorando el aprovechamiento de nutrientes.



*Ilustración 96. Malla cubresuelo.*

### 3.4.1. Grado de utilización del invernadero

El nivel de utilización se puede definir como el cociente entre superficie útil ocupada por el cultivo y la superficie total cubierta por el invernadero, pudiendo adoptar valores entre 0.60 y 0.75. Cuanto más alto indica que tiene mayor cantidad de cultivo.

$$C_u = \frac{S_U}{S_T}$$

*Fórmula 4. Grado de utilización del invernadero.*

Ahora bien no siempre conviene que tenga el valor más alto o mayor superficie empleada por cultivo, puesto que se debe tener en cuenta los pasillos o zonas de actividad. El invernadero dispondrá de un margen en todo el perímetro de 0.5 metros y un pasillo central en ambas direcciones (longitudinal y transversal) de 1 metro.

$$S_T = 8 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} = 160 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pasillos}} = S_{\text{pasillos perim}} + S_{\text{pasillos cent}}$$

$$S_{\text{pasillos perim}} = 2 \cdot (0.5 \text{ m} \cdot 20 \text{ m}) + 2 \cdot (0.5 \text{ m} \cdot 7 \text{ m}) = 27 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pasillos cent}} = 1 \cdot (1 \cdot 20 \text{ m}) + 1 \cdot (1 \cdot 7 \text{ m}) = 27 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pasillos}} = 54 \text{ m}^2$$

$$S_U = S_T - S_{\text{pasillos}} = 160 \text{ m}^2 - 54 \text{ m}^2$$

$$S_U = 106 \text{ m}^2$$

$$C_u = \frac{106}{160} = 0.66$$

Tenemos una superficie útil aceptable, eso sí válido pues está dentro del rango de 0.60 y 0.75.

### 3.4.2. Forma y orientación de cultivo

La orientación de los surcos de cultivo debería ser en dirección norte a sur para mejorar la distribución de la luz en las plantas a lo largo del día. Sin embargo, en este caso la dirección del viento no favorece la circulación del viento, por lo que se prefiere

cambiar la orientación de los surcos para favorecer el intercambio de aire al interior del invernadero. Por tanto la dirección del cultivo es **Noreste-Suroeste**.

Teniendo en cuenta el tipo de suelo y una serie de consideraciones, el cultivo se realizará en macetas a una altura considerable.



*Ilustración 97. Método de cultivo.*

## **4. DISEÑO ELECTRÓNICO**

### **4.1. INTRODUCCIÓN**

#### *4.1.1. Características del ESP8266*

El ESP8266 es un chip WIFI que ha captado el interés por la facilidad de establecer conexiones TCP/IP y su extraordinario bajo coste. Es un producto fabricado por Espressif Systems, una compañía china con sede en Shanghai; es por eso y además de ser tecnología muy reciente, por lo que la mayor parte de la documentación que se encuentra está en chino. Aunque el interés prestado por fabricantes occidentales está permitiendo que cada vez se cuente con más datos del chip en más idiomas.

Las características principales son:

- Protocolo 802.11b/g/n.
- WIFI Direct (P2P) 2.4 GHz, soft-AP.
  - Autenticación WEP o WPA/WPA2.
- Arquitectura RISC con CPU de 32 bits a 80 MHz (o 160).
- 64 KiB (kibibyte =  $2^{10}$  bytes) de RAM de instrucciones y 96 KiB de RAM de datos.
- 16 pines GPIO, dependiendo del modelo.
- Comunicación SPI, I2C
- UART en los pines dedicados.
- 1 pin ACD de 10 bits.
- Alimentación 3.3 V aunque algunas placas prototipos permiten funcionar a 5V y no menos 500 mA.
- Puede operar en temperaturas desde 0 °C a 75°C.

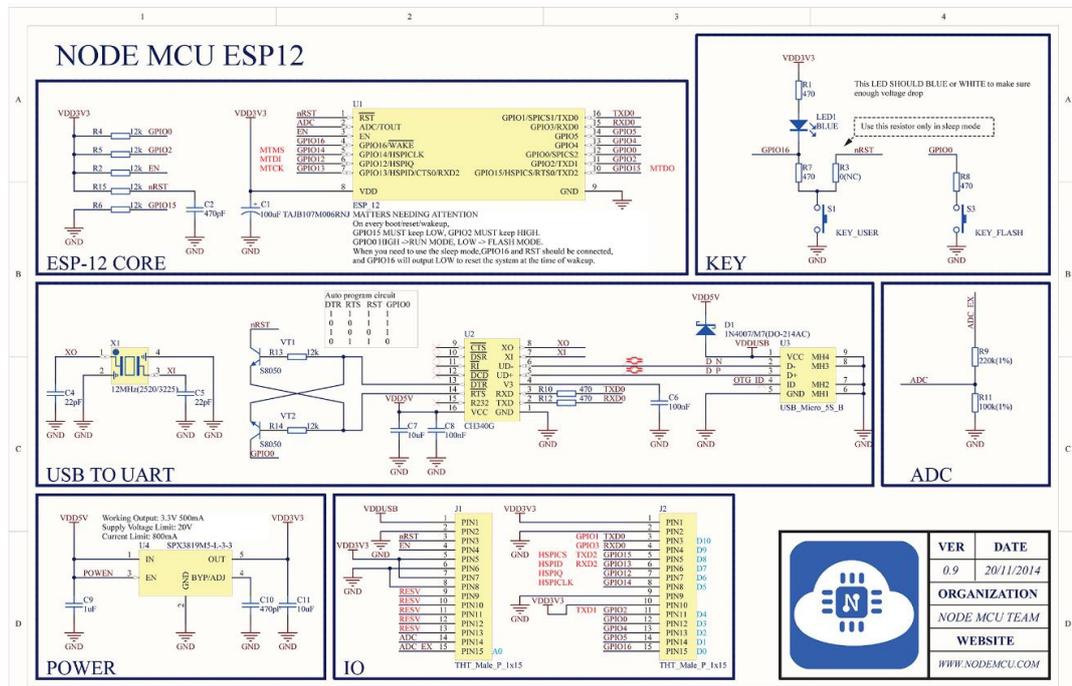


Ilustración 98. Esquema electrónico interno ESP8266-12

Antes de realizar cualquier configuración hemos de tener en cuenta el patillaje de los distintos módulos que emplearemos o podríamos emplear: ESP8266-1, ESP8266-12 y NODEMCU (ESP8266-12). Hay muchos modelos de placas con diferentes configuraciones de pines. Podemos encontrar más información en: [www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family](http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family).

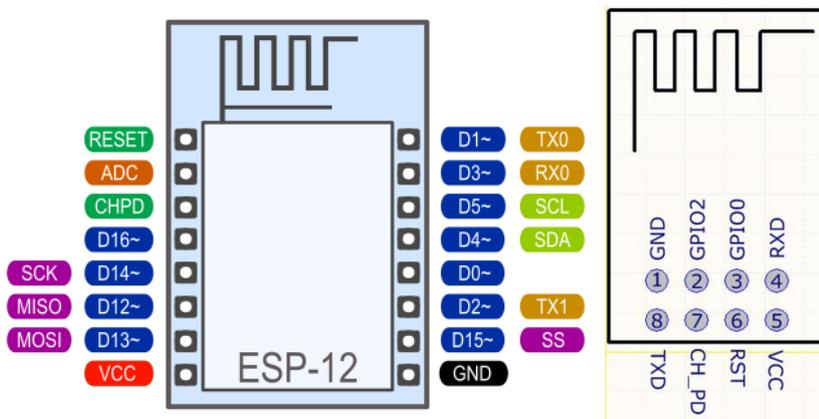


Ilustración 99. (Izq.)Pinout ESP8266-12 (Drcha.)Pinout ESP8266-1

424.16.9

Diseño electrónico

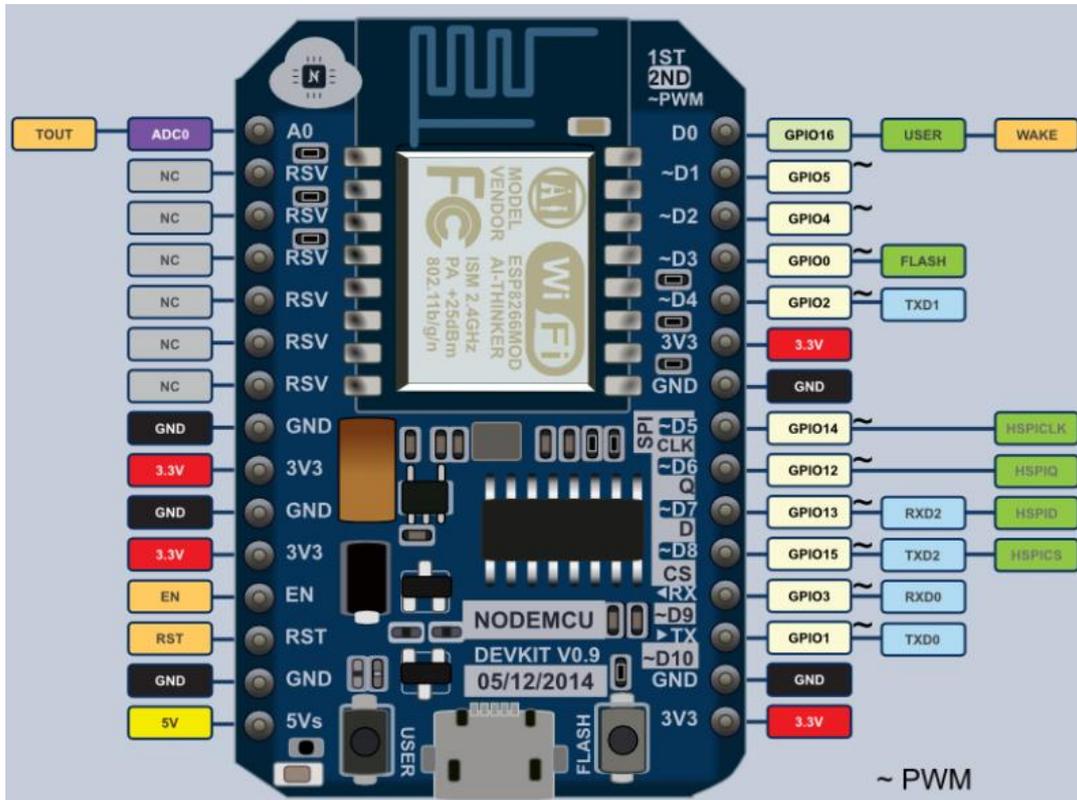
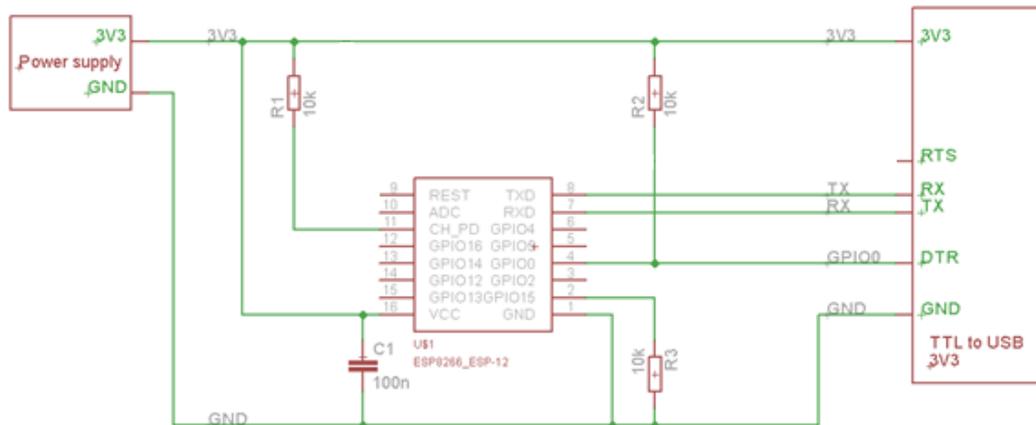


Ilustración 100. Pinout NodeMCU.

Este módulo WIFI en sus inicios fue una alternativa para placas Arduino con WIFI incorporado, como el Arduino YUN. Para establecer comunicación entre ambos componentes se emplea el puerto serie mediante comandos AT, en la que el programador tiene que escribir una serie de comandos y esperar respuesta de la placa (ejemplo AT+CIFSR). A través de estos comandos de textos se puede establecer cualquier tipo de conexión y operación de forma sencilla tanto en cuanto tengamos conocimiento de los comandos. Ahora bien existe una forma más sencilla para programar los módulos ESP8266 y es como lo hacemos con nuestra placa de Arduino es decir como si fuera un microcontrolador y haciendo a un lado los comandos AT. Para ello seguiremos las siguientes instrucciones:

- Actualizaremos el Firmware de la placa. Para ello descargaremos la última versión así como la herramienta de actualización (Flash tool 2.4) desde [http://www.electrodragon.com/w/Category:ESP8266\\_Firmware\\_and\\_SDK](http://www.electrodragon.com/w/Category:ESP8266_Firmware_and_SDK). Una vez iniciemos el programa, seleccionaremos el

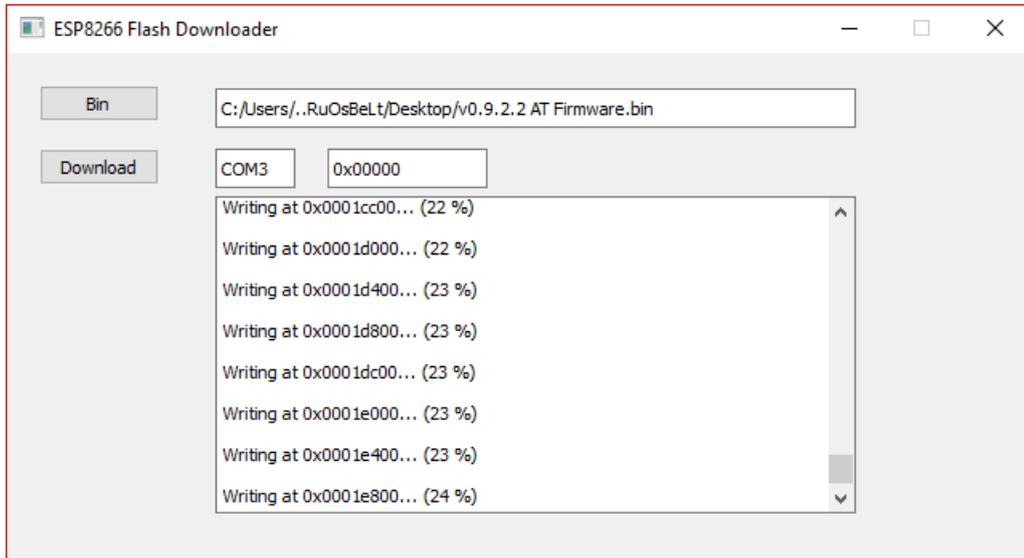
puerto USB en el que tenemos conectado el dispositivo (TTL USB que cuenta con un dispositivo FTDI FT232R que proporciona acceso a la UART Tx, Rx, RTS), 115200 como velocidad de subida y el archivo *.bin* que contiene la versión. Previamente alimentaremos nuestra placa desde CH-PD y VCC con 3.3 V (no más de 3.6 V sino lo estropeamos). También es esencial la conexión de TX y RX pues es por donde se transmitirán los datos. Cada vez que actualicemos el firmware o subamos algún programa es necesario conectar GPIO0 con GND y reiniciar la placa cortándole la alimentación. Para evitar ruido y mejorar estabilidad colocamos condensador de 100 nF entre VCC y GND del ESP8266.



*Ilustración 101. Conexión ESP8266-12 para actualizar firmware.*

**424.16.9**

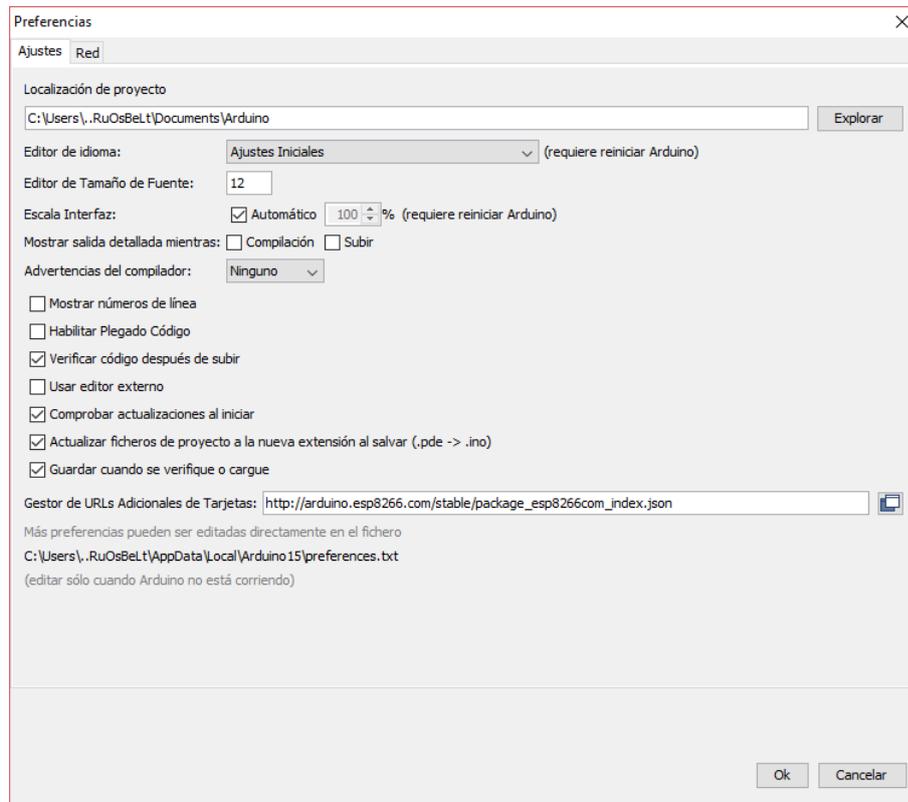
Diseño electrónico



*Ilustración 102. Proceso de actualización.*

En el caso de la placa de desarrollo NODEMCU no es necesario tener cuenta las conexiones anteriores, la alimentación y transmisión de datos se realiza a través del puerto USB. No es necesario reiniciarla, resultando no tan tedioso como en las otras placas. En cuanto al Firmware tampoco es necesario su actualización pues viene con su última versión. En caso que se desee hacerlo, los pasos podemos encontrarlos en [http://www.electrodragon.com/w/ESP8266\\_NodeMCU\\_Dev\\_Board#Old\\_No-deMCU\\_0.9\\_.28ESP-12.29](http://www.electrodragon.com/w/ESP8266_NodeMCU_Dev_Board#Old_No-deMCU_0.9_.28ESP-12.29).

- Una vez que nuestra placa tiene la última versión, abrimos Arduino IDE y nos dirigimos a archivos/preferencias donde introduciremos en el campo "gestión de URLs Adicionales de tarjetas" la siguiente dirección: [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json).



Al darle en "OK" ya podremos seleccionar la placa "GenericESP8266" en herramientas como placa predeterminada. También seleccionaremos como velocidad 155200. Cada vez que vayamos a emplear tanto la versión Esp8266 01, ESP8266-12 o NodeCMU (v0.9) haremos estas configuraciones mencionadas. Bueno pues ya podemos empezar a programar.

### 4.1.2. DeepSleep

Se considera de vital importancia el máximo ahorro de batería, pues hay una alta probabilidad de apagones en la región en la cual está situado el invernadero. Para paliar este problema se empleará un recurso que ofrece el ESP8266: el modo deepsleep ("sueño profundo"). En la siguiente ilustración se pueden apreciar los distintos tipos de sueño que se le pueden aplicar a nuestro módulo WIFI.

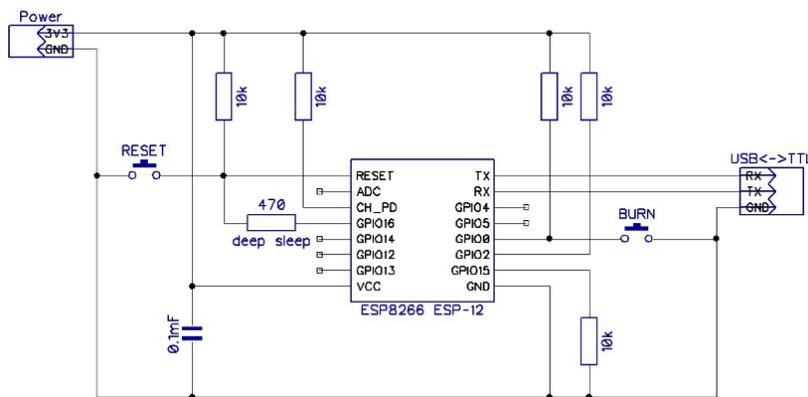
**424.16.9**

Diseño electrónico

Item	Modem-sleep	Light-sleep	Deep-sleep
Wi-Fi	OFF	OFF	OFF
System clock	ON	OFF	OFF
RTC	ON	ON	ON
CPU	ON	Pending	OFF
Substrate current	15 mA	0.4 mA	~ 20 $\mu$ A
Average current	DTIM = 1	16.2 mA	1.8 mA
	DTIM = 3	15.4 mA	0.9 mA
	DTIM = 10	15.2 mA	0.55 mA

*Ilustración 103. Tipos de Sleep.*

Se trata de emplear la menor corriente posible para que la duración de las baterías de nuestra fuente de alimentación sea la mayor posible, por lo que el modo que se usará es el **DeepSleep**, con un consumo de alrededor de 20 microamperios. En este modo solo permanece activo el **RTC (Real Time Clock)**. Este genera un impulso en el pin GPIO16 (D0) que junto con el pin RST ayudará a despertar el módulo. Además de esta conexión estos deben estar conectados a VCC en pull up. En el módulo NodeMCU no hace falta esta última conexión. En cambio con los demás módulos WIFI (ESP8266-1 y ESP8266-12) sí que realizaremos esta conexión.



*Ilustración 104. Conexión deepSleep ESP8266-12.*

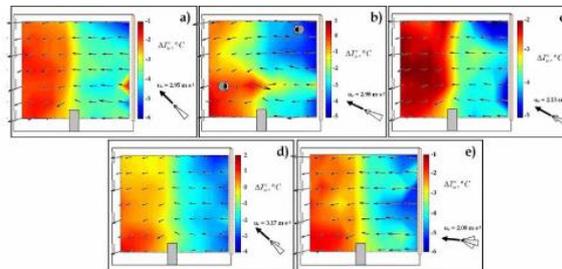
En cuanto a la programación de este estado, se reduce a una línea en la que se establece el tiempo (microsegundos) en el que tiene que despertarse y el modo en que

lo hará. De los 3 modos que tiene el módulo para despertarse emplearemos el denominado *WAKE\_RF\_DEFAULT*, con el que se inicia sin ningún tipo de configuración ni conexión WIFI empezando, es decir es una especie de reinicio del módulo.

```
ESP.deepSleep(sleepTime*1000000, WAKE_RF_DEFAULT)
```

*Programa 1. DeepSleep*

### 4.1.3. Localización del módulo



*Ilustración 105. Simulación de la distribución de temperatura.*

En la figura se aprecia la gran diferencia de temperatura entre la zona más frío junto al panel y la más caliente próxima a los extractores y/o tras la antesala de entrada. Tal diferencia oscila entre los 4 y 5°C dependiendo de las circunstancias en las que son tomadas las medidas. Tal diferencia nos permite apreciar la importancia de la colocación del módulo dentro del invernadero con el fin de obtener las mediciones más fidedignas. Se puede deducir que el lugar más representativo del invernadero y en el cual se va a colocar el módulo es la zona central a una altura superior a 1.5 m.

**Se pueden colocar sensores en un punto central y representativo del invernadero, a 1.5 m de altura** o, en ocasiones, a la altura del punto de crecimiento de las plantas.

## 4.2. MÓDULO DE SENSORES

### 4.2.1. *Sensor de humedad y temperatura (DHT22 o AM2302)*



*Ilustración 106. Módulo DHT22.*

La elección del sensor de humedad es muy importante, ya que mediante este se obtendrán unas de las variables más importantes: humedad y temperatura. Se ha decidido emplear el sensor DHT22 o AM2302, debido a que posee un interfaz serial que permite la integración del sistema de forma rápida y fácil. Supone una gran mejora respecto a su versión anterior (DHT11) con mayores rangos de temperatura y humedad, y más precisión. El módulo presentado está formado por un sensor capacitivo de humedad y un sensor de temperatura de alta precisión, con un microcontrolador de alto rendimiento, que realizará las funciones de calibración; además cuenta con una resistencia pull-up (5.1 k $\Omega$ ), estando en modo alto cuando el bus de datos está desocupado. Proporciona una salida digital serie ONEWIRE de 40 bits, de los cuales los 16 bits más significativos representan la humedad relativa, los siguientes el valor de la temperatura y los restante 8 sin para detección de errores en la comunicación. Las características principales son:

- Alimentación: 3.3v – 5.5v, tomando como valor recomendado 5v.
- Resolución decimal, es decir, los valores tanto para humedad como para temperatura serán números con una cifra decimal.
- Tiempo de muestreo: 2 segundos, es decir, sólo nos puede ofrecer datos cada 2 segundos.

En cuanto a sus prestaciones leyendo temperatura:

- Rango de valores desde  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $80^{\circ}\text{C}$  de temperatura.
- Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  como máximo en condiciones adversas.
- Tiempo de respuesta:  $< 10$  segundos, es decir, de media, tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio de temperatura real en el entorno.

Si hablamos de sus prestaciones leyendo humedad relativa:

- Rango de valores desde 0% hasta 99.9% de Humedad Relativa.
- Precisión:  $\pm 2\% \text{RH}$ , a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Tiempo de respuesta:  $< 5$  segundos, es decir, de media, tarda menos de 5 segundos en reflejar un cambio de humedad relativa real en el entorno. Además, para darse esta afirmación, los tests indicaron que la velocidad del aire debe ser de 1 m/s.

SENSOR	RANGO DE MEDIDA	PRECISIÓN	TIEMPO DE RESPUESTA
DHT11	20-90%	$\pm 5\%$	10 s
HCH-1000-001	10-95%	$\pm 2\%$	15 s
HS1101	1-99%	$\pm 5\%$	5 s
DHT22	0-100%	$\pm 2\%$	2 s
SYH2R	10-95%	$\pm 3\%$	$< 45$ s
SHT11	0-100%	$\pm 3\%$	$< 4$ s
SHT75	0-100%	$\pm 1.8\%$	8 s
HIH 4000-002	0-100%	$\pm 3.5\%$	15 s
RHT03	0-100%	$\pm 2\%$	2 s

*Ilustración 107. Comparación de sensores.*

La conexión del dispositivo se realiza directamente hasta el microcontrolador a través del pin de datos (DAT), realizando la correcta alimentación (VCC y GND). De forma opcional podemos filtrar la alimentación colocando un condensador de, por ejemplo, 100 nF, entre VDD y GND.

424.16.9

Diseño electrónico

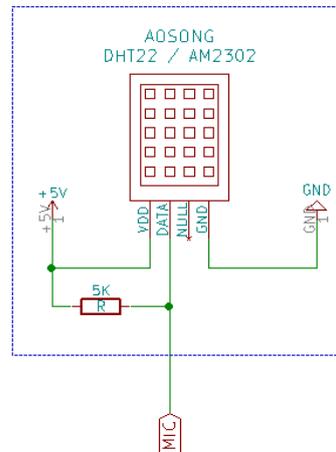


Ilustración 108. Conexión DHT22.

La programación del módulo se realiza a través de Arduino IDE, en la que primero se tendrá que descargar la librería para después invocarla.

```
#include <DHT.h> //librería DHT

DHT dht;//inicio el dispositivo

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  dht.setup(2);//entre paréntesis se define el pin por el
}           //que se reciben las lecturas.

void loop() {
  float hum = dht.getHumidity();//obtiene la humedad y la guarda
                          //en la variable llamada "hum"
  float temp = dht.getTemperature();//obtiene la temperatura
  if (isnan(hum) || isnan(temp)) { //si no hay datos
    Serial.println("Fallo al leer el sensor!");
    return;
  }
  Serial.println(hum);
  Serial.println(temp);
}
```

Programa 2. Obtención de datos con DHT 22

## 4.2.2. Sensor de luminosidad (Fotoresistencia LDR)

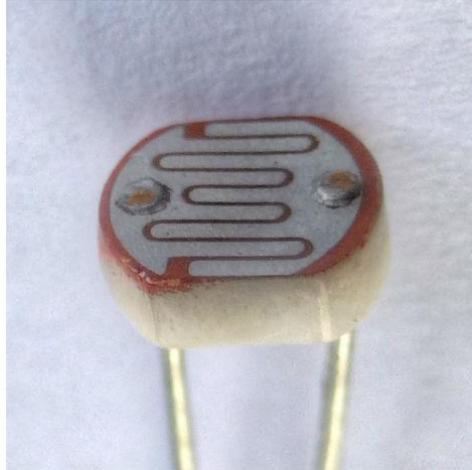


Ilustración 109. LDR

Este pequeño dispositivo está formado por un semiconductor, típicamente sulfuro de cadmio, que cuando incide la luz sobre él, algunos de los fotones son absorbidos provocando que electrones pasen a la banda de conducción y, por tanto, disminuyendo la resistencia del componente. Podemos usar esta variación para medir, a través de las entradas analógicas, una estimación del nivel de luz.

Un fotoresistor disminuye su resistencia a medida que aumenta la luz sobre él. Los valores típicos son de 1 Mohm en total oscuridad, a 50-100 Ohm bajo luz brillante.

Por otro lado, la variación de la resistencia es relativamente lenta, de 20 a 100 ms en función del modelo. Este comportamiento puede ser beneficioso, ya que dota al sensor de una gran estabilidad.

Finalmente, los fotoresistores no resultan adecuados para proporcionar una medición de la iluminancia debido a su baja precisión, su fuerte dependencia con la temperatura y, especialmente, a que su distribución espectral no resulta adecuada para la medición de iluminancia. Sino más bien es un sensor que resulta adecuado para proporcionar medidas cuantitativas sobre el nivel de luz y teniendo en cuenta el objetivo que perseguimos es suficiente.

Se emplea el llamado divisor de tensión para saber la tensión repartida entre las resistencias de las cuales una es el LDR, variable con la luminosidad. Si utilizamos el

424.16.9

Diseño electrónico

LDR como resistencia inferior, nos dará la tensión máxima cuando tengamos máxima oscuridad, ya que se opone el máximo de su resistencia al paso de la corriente derivándose esta por  $V_{out}$  al completo, si lo utilizamos como resistencia superior, el resultado será el inverso, tendremos la tensión máxima cuando esté completamente iluminado.

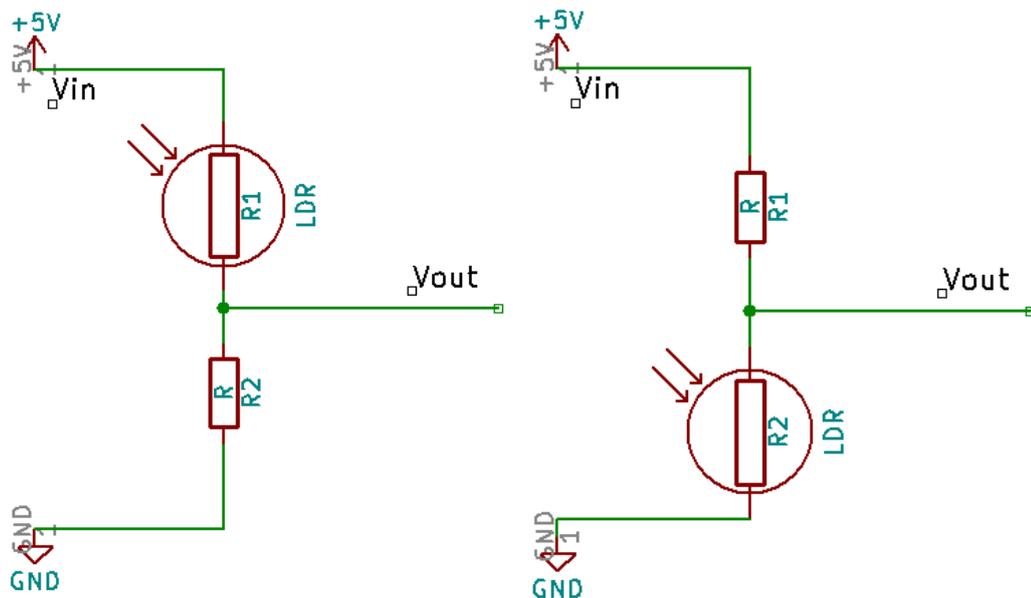


Ilustración 110. Divisor de tensión, LDR como  $R_1$  (izquierda) y como  $R_2$  (derecha).

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot V_{IN}$$

Fórmula 5. Tensión de salida del divisor de tensión.

La tensión de salida es leída por la entrada analógica de nuestro módulo para convertirla en valores expresados en porcentajes. Para emplear este sensor no es necesario emplear ninguna librería especial y basta con declarar el pin de entrada y las variables.

```
void loop() {  
  LecturaLDR = analogRead(A0); //A0 lee el valor del LDR.  
  float luz = ((LecturaLDR*100.0)/1024); //resolución en porcentaje.  
  int luminosidad = round(luz); //redondeo el porcentaje para mostrar enteros.  
  Serial.print("Luminosidad: "); //muestro por pantalla el valor de  
  Serial.print(luminosidad); //la luminosidad.  
  Serial.println("%");  
}
```

Programa 3. Obtención de datos de LDR.

### 4.2.3. *Sensor de humedad de suelo*



*Ilustración 111. YL-69 y YL-38.*

El sensor YL-69 mide la humedad del suelo. Aplicando una pequeña tensión entre los terminales, hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Por lo tanto al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

Consiste en una sonda con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital que entregará un pulso bajo cuando haya conductividad suficiente entre cada una de las puntas.

El umbral de disparo se puede establecer moviendo el potenciómetro que se encuentra en el módulo YL-38. En la salida analógica el nivel de voltaje dependerá directamente de cuanta humedad haya en el suelo, dando valores entre 0 y 1023.

0 – 300      muy mojado

300 – 700    húmedo

700 – 1023   seco

Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos. VCC, GND, D0, A0.

#### 4.2.4. *Sensor de lluvia*

Este módulo consta de dos partes. Una primera parte consiste en una serie de pistas conductoras impresas sobre una placa de baquelita. La separación entre las pistas es muy pequeña. Lo que este módulo hace es crear un corto circuito cada vez que las pistas se mojan. El agua hace que se cree un camino de baja resistencia entre las pistas con polaridad positiva y las pistas conectadas al GND. La corriente que fluye a través de estas pistas se ve limitada por resistencias de 10K en cada conductor, lo que impide que el corto circuito que se genera cuando se moja la placa vaya a estropear el micro controlador.



*Ilustración 112. YL-83*

Una segunda parte es el circuito de control, el cual posee las resistencias limitadoras de corriente y es el encargado de alimentar el módulo. Posee un amplificador operacional, específicamente el circuito integrado LM392. Este es el encargado de amplificar el pequeño diferencial de voltaje que se genera cuando una gota de agua cae sobre las pistas del módulo. Aquí es donde se genera la señal de salida que puede ser del tipo analógica o digital.

La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto valor, que ajustamos mediante el potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW en ausencia de lluvia, y HIGH con presencia de lluvia.

La salida analógica entregará un nivel de voltaje que variará dependiendo de la cantidad de agua que haya sobre el módulo. Los valores analógicos medidos varían

desde 0 para una placa totalmente empapada, a 1023 para una placa totalmente seca. En el caso del sensor de lluvia la señal analógica carece de interés, ya que el sensor no dispone de la precisión necesaria para medir la cantidad de agua acumulada, solo su presencia.

Para utilizar el módulo basta con conectar la placa con las pistas y el circuito de control. Este a su vez se conectará a través de A0, si se desea obtener una medición analógica, o D0, si la salida deseada es digital, con el microcontrolador. No nos olvidemos de alimentar el módulo con 5V. El programa con el que obtendremos los valores son los siguientes:

```
const int sensorPin = D1;//defino el pin entrada
int value = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);//iniciar puerto serie
  pinMode(sensorPin, INPUT);//definir pin como entrada
}

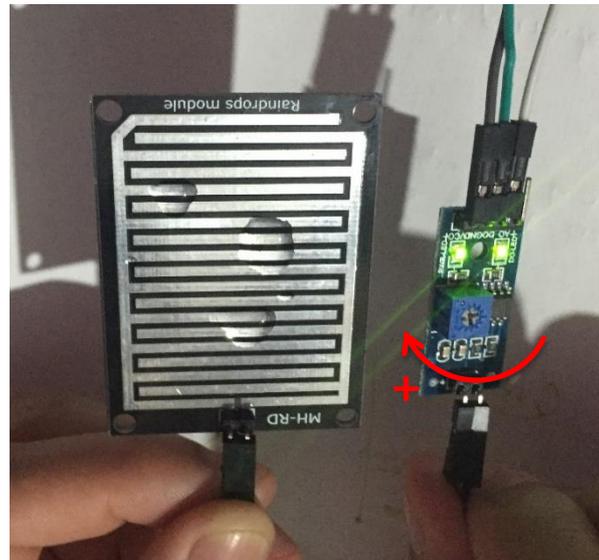
void loop(){
  value = digitalRead(sensorPin ); //lectura digital de pin
  if (value == LOW) { //cuando el valor es 0 detecta lluvia
    Serial.println("Detectada lluvia");
  }else{
    Serial.println("No llueve");
  }
  delay(1000);
}
```

*Programa 4. Obtención de datos con sensor de lluvia.*

Mediante este programa realizaremos la calibración del sensor. Lo cargaremos en nuestro módulo y sobre la placa de las pistas colocaremos la cantidad de agua a partir de la cual nuestro sensor enviará señal de presencia de agua. Previamente colocaremos el potenciómetro mínima sensibilidad en el que se necesitará mucha cantidad de agua para que nos de presencia, para poco a poco ir aumentando la sensibilidad hasta llegar un punto en el que nos dé presencia de lluvia. También lo podremos ver en el módulo de control del sensor, pues se iluminará los dos leds que dispone.

**424.16.9**

Diseño electrónico



*Ilustración 113. Calibración manual.*

#### 4.2.5. Módulo RTC

Saber la fecha y hora en tiempo real (RTC) es de vital importancia en el control de procesos. Si no conocemos estas variables, no sabremos si la hora que se pone en funcionamiento algún sistema es la adecuada, por supuesto teniendo en cuenta el resto de variables climáticas. El dispositivo que nos proporcionará estas variables es un módulo RTC basado en el DS1302; sin embargo, este sistema es de respaldo pues la principal fuente será internet a través del dispositivo ESP8266.

Consiste en un circuito integrado alimentado por una batería el cual, en todo momento, registra la fecha, día de la semana y hora al igual que un reloj digital convencional.

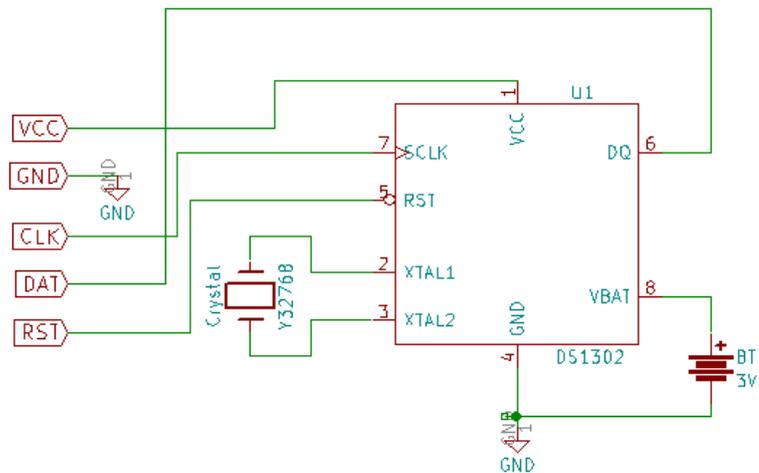


Ilustración 114. Circuito RTC.

```
#include <DS1302.h>

DS1302 rtc(D2, D3, D4); // Inicializacion del modulo.
Time t;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  rtc.halt(false);
  rtc.writeProtect(false);

  rtc.setDOW(MONDAY); // Configuramos dia de la semana.
  rtc.setTime(10, 29, 00); // configurar hora en formato 24hs con min y seg.
  rtc.setDate(26, 9, 2016); // configurar fecha en formato dia/mes/año.
}

void loop() {
  t = rtc.getTime();

  Serial.print("HOY:");
  if (t.dow == 1) Serial.print("lun"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para lunes.
  if (t.dow == 2) Serial.print("mar"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para martes.
  if (t.dow == 3) Serial.print("mie"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para miercoles.
  if (t.dow == 4) Serial.print("jue"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para jueves.
  if (t.dow == 5) Serial.print("vie"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para viernes.
  if (t.dow == 6) Serial.print("sab"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para sábado.
  if (t.dow == 7) Serial.print("dom"); // la variable t.dow tendrá valor de 1 para domingo.
}
```

## 424.16.9

### Diseño electrónico

```
Serial.println();//línea nueva
Serial.print("DIA:");//se publicaran datos de fecha, en numeros.
Serial.print(t.date, DEC);//día del mes

Serial.println();
Serial.print("MES:");
Serial.print(t.mon);

Serial.println();
Serial.print("DE:");
Serial.print(t.year, DEC);

Serial.println();
Serial.print("HORA:");//hora en formato 0-23.
Serial.print(t.hour, DEC);
Serial.print(", MIN:");//minutos.
Serial.print(t.min, DEC);
Serial.print(", SEG:");//segundos.
Serial.print(t.sec, DEC);

Serial.println();
delay(3000);//tiempo para no sobrecargar las comunicaciones con el modulo.
}
```

*Programa 5. Configuración hora.*

Para realizar la configuración, lo que haremos es sincronizar la fecha y hora de nuestro módulo RTC con la que nos proporciona internet. Para ello nos registraremos en <http://www.wunderground.com> para obtener la API Wunderground de la que además podremos obtener la previsión del tiempo en la actualidad. También es necesario descargarse la librería **Json Streaming Parser**, el cual usa texto en formato legible por el ser humano para transmitir datos de objetos que constan de atributo y valor (pares de datos). Las demás librerías serían las siguientes:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include "JsonListener.h"
#include "WundergroundClient.h"
#include "TimeClient.h"
```

*Programa 6. Librerías sincronización hora.*

Hay que tener en cuenta que tenemos que estar conectados a internet para poder acceder a este servicio. A continuación, obtenemos la hora y la introduciremos como hora por defecto en nuestro módulo RTC.

```
String time = timeClient.getFormattedTime();

rtc.halt(false);
rtc.writeProtect(false);
char horas[3];
horas[0]=time[0];
horas[1]=time[1];
horas[2]=0;

char minu[3];
minu[0]=time[3];
minu[1]=time[4];
minu[2]=0;

char seg[3];
seg[0]=time[6];
seg[1]=time[7];
seg[2]=0;

int a=atoi(horas);
int b=atoi(minu);
int c=atoi(seg);

rtc.setTime(a,b,c);//configurar hora en formato 24hs con min y seg.
rtc.setDOW(MONDAY);//Configuramos dia de la semana.
rtc.setDate(26, 9, 2016);//configurar fecha en formato dia/mes/año.
```

*Programa 7. Sincronización hora.*

## 4.3. MÓDULO DE ACTUADORES

### 4.3.1. Previsión del tiempo

En este punto es una obviedad mencionar que datos, como la velocidad y dirección del viento, temperaturas mínimas y máximas a lo largo del día y probabilidad de lluvia, son muy importantes a la hora de tomar alguna decisión. Lo ideal sería contar con estación meteorológica. Para palera esta deficiencia contamos con servidores de internet que nos proporcionan estos datos. Para ello emplearemos el servicio empleado en el otro módulo para configuración de la hora (wunderground). Además de las librerías ya citadas es necesario introducir una serie de datos:

```
String apiKey = "d88d7647dc583412";
String idio = "SP";
String pais = "SP";
String ciudad = "Zaragoza";
```

*Programa 8. Datos API y situación geográfica.*

A continuación añadimos las siguientes líneas en una función dentro del *setup* de nuestro programa, donde *a = apiKey*, *b = idioma*, *c = país* y *d = país*.

```
void prev_clima (String a, String b, String c, String d){
  timeClient.updateTime();
  wunderground.updateConditions(a , b , c , d);
  Serial.println();
  wunderground.updateForecast(a , b , c , d);
  Serial.println();
  String FT = wunderground.getForecastTitle(0);
  Serial.print("Dia: ");
  Serial.println(FT);
  Serial.println();
  String wFLT = wunderground.getForecastLowTemp(0);
  Serial.print("Temperatura minima de hoy: ");
  Serial.println(wFLT);
  String temp = wunderground.getCurrentTemp();
  Serial.print("Temperatura actual: ");
  Serial.println(temp);
  String wFHT = wunderground.getForecastHighTemp(0);
  Serial.print("Temperatura maxima de hoy: ");
  Serial.println(wFHT);
  Serial.println();
}
```

```
String time = timeClient.getFormattedTime();
Serial.print("Hora: ");
Serial.println(time);
String hum = wunderground.getHumidity();
Serial.print("Humedad relativa: ");
Serial.println(hum);
String pre = wunderground.getPressure();
Serial.print("Presion atmosferica: ");
Serial.println(pre);
String prec = wunderground.getPrecipitationToday();
Serial.print("Precipitaciones hoy: ");
Serial.println(prec);
String viento = wunderground.getWindDir();
Serial.print("Direccion del viento: ");
Serial.println(viento);
}
```

*Programa 9. Función previsión del tiempo WUNDERGROUND.*

### 4.3.2. *Medición de batería módulo actuación*

Se empleará la entrada analógica de nuestro módulo para realizar la medición de batería pues es esencial que nunca se deje alimentar nuestro módulo WIFI. Esta entrada se dispone a partir de la tensión de salida (Vout) un divisor de tensión en el que cuanto sea más alto sea el valor de las resistencias menor es el valor consumido por el divisor de tensión. La batería será nuestra tensión de entrada del divisor. El valor de las dos resistencias será el mismo y puede estar comprendido entre 1 y 20 K $\Omega$ , cogiendo como valores resistencias de 10 K $\Omega$ . Se colocará un condensador entre la entrada analógica y GND.

## 424.16.9

### Diseño electrónico

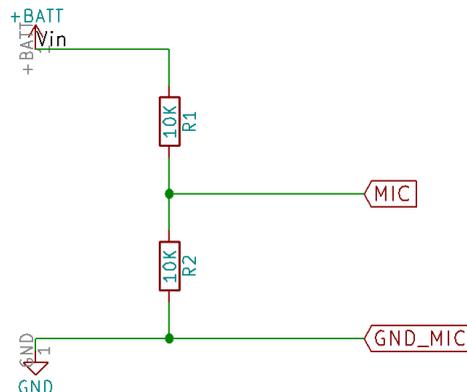


Ilustración 115. Circuito medición de batería.

Otra forma de obtener es empleando la orden `ESP.getVcc`. Si usamos `TOUT (A0)` como la forma predeterminada (`analogRead ()`) no podremos usarlo con la forma de lectura de fuente de alimentación y por tanto el pin no debe estar conectado. En el caso que empleemos `get.Vcc` hemos de definirla previamente (`ADC_MODE (ADC_VCC)`).

### 4.3.3. Envío de correos

El envío de mensajes es importante para avisar de cualquier decisión o estado crítico del sistema. El método de aviso empleado el servicio de mensajería de Google. Para ello se hará interconexión entre varios servicios: Google Script – Hoja de cálculo de Google – Gmail. El tipo de conexión que se emplea es encriptada para garantizar la seguridad de comunicación (TLS).

```
const char* host = "script.google.com";
const char* googleRedirHost = "script.googleusercontent.com";
const char* GScriptId = "AKfycby-dC3ZPT2y8a25HG4AY7FEURqYhNXtCDefnYvdzDRRSWe0UT5i"; //GS Exe Google Script App

// SHA1 huella digital del certificado.
const char *fingerprint = "C9 82 E3 AB 7E 78 B4 2B DC A4 97 AF 5E 38 0B 16 DA D7 A5 2E"; //fingerprint de aplicacion
const int httpsPort = 443; //puerto envio.

String Address = "eladar15@hotmail.com"; //destinatario.
String subject = "Envío de ESP8266"; //asunto.
String Message = "Hola me llamo Ruosbelt"; //mensaje
```

```
HTTPSRedirect client(httpsPort);
Serial.print("Conectando a: ");
Serial.println(host);

bool flag = false;
for (int i=0; i<5; i++){
  int retval = client.connect(host, httpsPort);
  if (retval == 1) {
    flag = true;
    break;
  }
  else
    Serial.println("Conexion fallida. Reintentando...");
}

Serial.flush();
if (!flag){
  Serial.print("No se puede conectar con el servidor: ");
  Serial.println(host);
  Serial.println("Saliendo...");
  return;
}

Serial.flush();
if (client.verify(fingerprint, host)) {
  Serial.println("Coincide certificado.");
} else {
  Serial.println("No coincide el certificado");
}
}

//function URL
String urlpacket( String GScriptId,String Address, String Message , String subject) {

  //replace - remplazo " " for "+" para envio atravez de url, for send via url
  Message.replace(" ", "+");
  subject.replace(" ", "+");

  String url = String("/macros/s/") + GScriptId + "/exec?" + "Address=" + Address + "%Message=" + Message + "%subject="+ subject + "%sendMail=ok";
  return url;
}

HTTPSRedirect client(httpsPort);
if (!client.connected())
  client.connect(host, httpsPort);
  Serial.println("run...");

  if (cn==10){// Contador = 10 envia correo
  //Write to Google Spreadsheet
  String urlout= urlpacket(GScriptId,Address,Message,subject);
  client.printRedir(urlout, host, googleRedirHost);
  Serial.println("Mail enviado a .. "+ Address);
  Serial.println("=====");
}

cn++;
Serial.println(cn);
}
```

*Programa 10. Enviar correos.*

**424.16.9**

Diseño electrónico

### 4.3.4. Comprobación de funcionamiento del módulo

La forma de comprobar que nuestro módulo WIFI envía señales hacia el moc3021 es cargando el siguiente programa:

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(2, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(2, HIGH);  
  Serial.println("Encendido");  
  delay(1000);  
  digitalWrite(2, LOW);  
  Serial.println("Apagado");  
  delay(1000);  
}
```

*Programa 11. Comprobación módulo.*

Veremos que se enciende y se apaga un led en serie cada 1 segundo indicando que también le llega corriente al led interno del moc3021, abriendo el paso de corriente por el triac.



*Ilustración 116. Comprobación en prototipo.*

## 4.4. FUENTES DE ALIMENTACIÓN

### 4.4.1. Fuente de alimentación de placa de sensores

Los distintos módulos deben de contar con alimentación continua, de tal forma que bajo ninguna circunstancia se cese la actividad de toma de datos como toma de decisiones. Por ese motivo se ha pensado en un sistema de alimentación ininterrumpida (**SAI o UPS** en inglés) para proporcionar energía por un tiempo limitado a todos los dispositivos que tenga conectados (ESP8266, sensores y dispositivos asociados).

Estos dispositivos UPS cuentan por un lado de alimentación fija proveniente de la red eléctrica y por otro lado de una batería con sus correspondientes dispositivos de protección. La tensión de la red es la que nos cargará la batería cuando esta se haya descargado tras ser empleada. Sin embargo, esta tensión de la red eléctrica no puede ser empleada directamente sino a través de un circuito electrónico que convierta de corriente alterna en continua y a una tensión apropiada para nuestros dispositivos. En nuestros dos circuitos se cumplen la estructura de una fuente de alimentación, esto es: red eléctrica, protección (fusible), transformador, rectificador a base de diodos, filtro y regulador de tensión.

De los 220 V de corriente alterna proveniente de la red eléctrica el transformador nos proporciona 9 V AC. ¿Porque 9 V? El regulador de tensión que se colocará (5V de salida) requiere una tensión de alimentación de 2.5 V por lo que la tensión que tiene que llegar al regulador tiene que ser de más de 5 V. Más concretamente se necesitará una tensión de al menos  $5\text{ V} + 2.5\text{ V} + 0.7\text{ V}$  (diodo) = 8.2 V.

Mediante un puente de diodos (B80C1000), como rectificador de onda completa, obtendremos corriente alterna rectificadas y sin toma intermedia. Una vez la señal está rectificadas, nuestro siguiente reto es conseguir una tensión filtrada y no pulsatoria. El encargado de esta labor es el condensado para cuyo cálculo tenemos que tener en cuenta la tensión máxima de salida, intensidad máxima de salida, frecuencia de la red...

Tensión de salida = 9 V.

Intensidad de salida = 1 A.

---

**424.16.9**

Diseño electrónico

$$V_{ppr} = \frac{I}{f \cdot C}$$
$$V_{ppr} = 10\% \cdot (V_p - 1,4)$$
$$f = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Hz}$$
$$V_p = 9 \cdot \sqrt{2} = 12,7279 \text{ V}$$
$$V_{ppr} = \frac{10 \cdot 1}{100 \cdot 12,73} = 7,86 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$
$$7,86 \cdot 10^{-3} \text{ F} = 7856 \mu\text{F}$$

También se podría aplicar una regla empírica: tomar 2000 uF por amperio de salida, resultando el valor comercial más cercano 2200 uF.

Emplearemos tres condensadores en paralelo. La tensión que soportan los condensadores es de  $12,7279 \text{ V} + 10 \text{ V} = 22,73 \text{ V}$ , por tanto emplearemos los de 25 V por ser comercial.

El regulador empleado es el LM7805 cuya tensión de salida, ya mencionada, es de 5V capaz de alimentar a nuestro módulo WIFI como a los distintos sensores. A este componente se le colocará dos condensadores que permitirán estabilizar las tensiones de salida y un diodo para evitar que el LM7805 se polarice en inversa y pueda sufrir daños.

A este circuito se le ha añadido un integrado, el LM3914n-1, con 10 leds de distintos colores como indicadores de nivel de batería. A este circuito se le ha añadido un potenciómetro con el que regular la sensibilidad. Para regularlo conectaremos una fuente de alimentación regulable de tal forma que cuando haya 9V se enciendan todos los leds y cuando el potenciómetro se coloque en la menor posición, solo brille un led rojo.

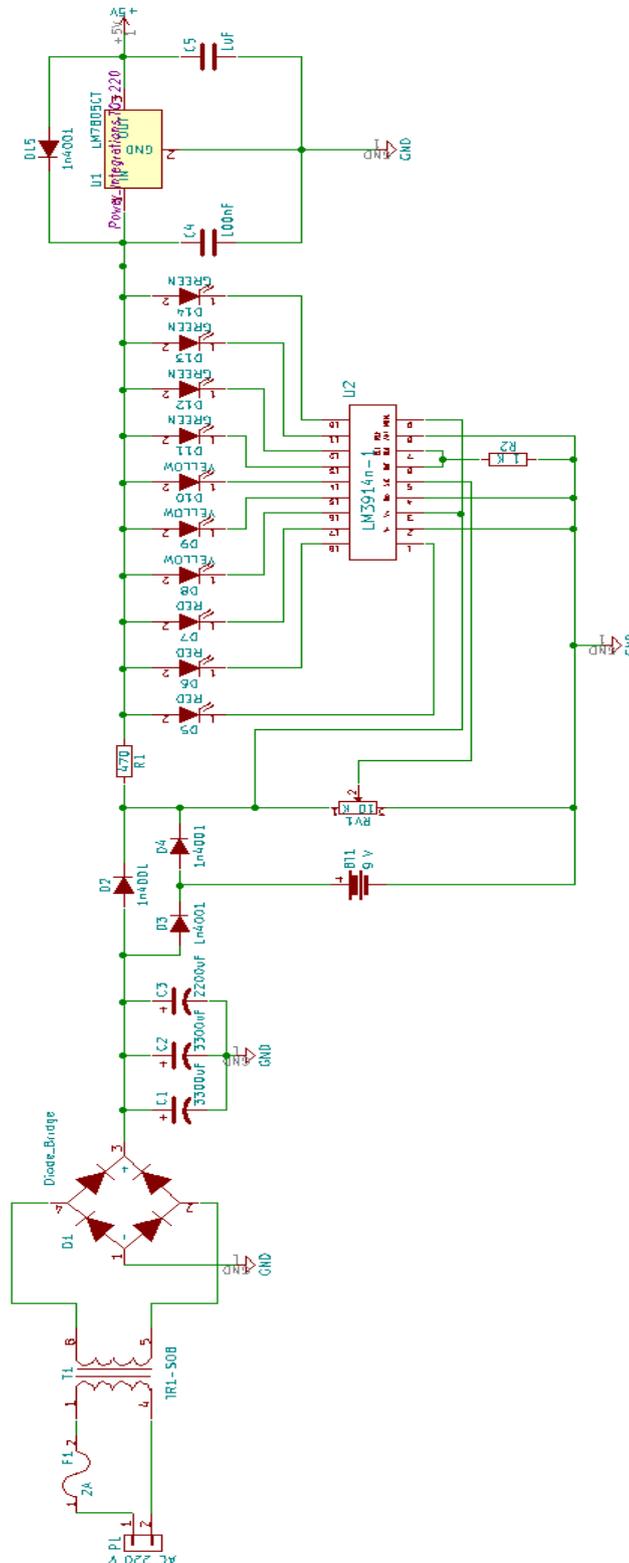


Ilustración 117. Circuito alimentación módulo sensores.

#### 4.4.2. Fuente de alimentación placa de los actuadores

En esta fuente de alimentación se ha añadido una serie de componentes porque en este caso se necesitan 3.3V para alimentar nuestro ESP8266-12. Una vez tenemos 5V tendremos que realizar otra reducción de voltaje. En este caso empleamos el LM317 aunque también se pueden usar el LM350 o LM338.

Este nos permite obtener una gran variedad de tensión cuya regulación se puede realizar mediante las dos resistencias que tiene que acompañar al integrado. La tensión de entrada tiene que ser entre 1.2 y 1.25 V por encima de la tensión de salida y es este el motivo por el que es necesario reducir de los 9 V que sale del transformador hasta los 5.

$$\begin{aligned}V_{REF} &= 1,25 \text{ V} \\V_{OUT} &= V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 \\R_2 &= \frac{R_2}{1,25} \cdot (V_{OUT} - 1,25) \\R_2 &= \frac{220}{1,25} \cdot (3,3 - 1,25) \\R_2 &= 192 \cdot 2,05 \\R_2 &= 360,8 \Omega \\ \text{resistencia comercial } R_2 &= 390 \Omega \\R_1 &= 240 \Omega\end{aligned}$$

A este circuito también le agregaremos dos condensadores, uno de 100 nF y otro electrolítico de 1 uF. Una vez tenemos alimentado el ESP8266, nos queda diseñar nuestra etapa de potencia. Se pretende aislar tanto el circuito de potencia como el de control. Para ello se emplea el optoacoplador, triac, filtro Snubeerles y fusible. Cuando un triac controla las cargas inductivas, la tensión de red y la corriente de carga no están en fase. Para limitar la pendiente de la tensión aplicada y asegurar el triac se utiliza el filtro Snubeerles conectado en paralelo con el triac. Este circuito también se puede utilizar para mejorar la inmunidad del triac.

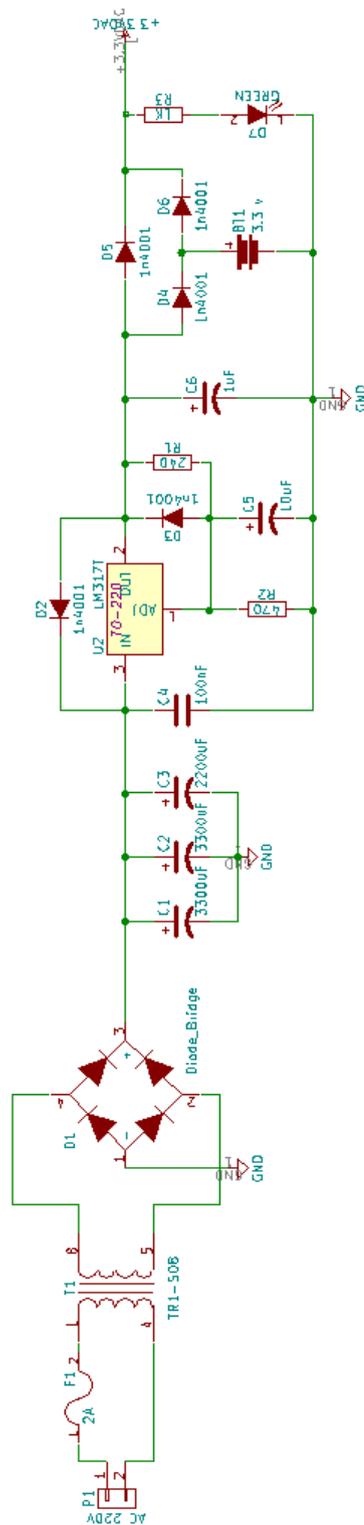


Ilustración 118. Circuito alimentación módulo actuadores.

## 4.5. COMUNICACIONES

### 4.5.1. Comunicación entre módulo sensores y base de datos-página web

#### 4.5.1.1. Configuración de red WIFI (aplicación .apk)

Tener una conexión a internet es esencial para poder realizar una serie de comunicaciones que serán comentadas más adelante. Mediante unas sentencias sencillas y con la librería adecuada (ESP8266WiFi.h, incluida en programas anteriores), podemos conectar el módulo a internet, donde el **ssid** es la red y el **pass** es la contraseña de nuestra red.

```
int cuenta = 0;
WiFi.begin(ssid, pass);

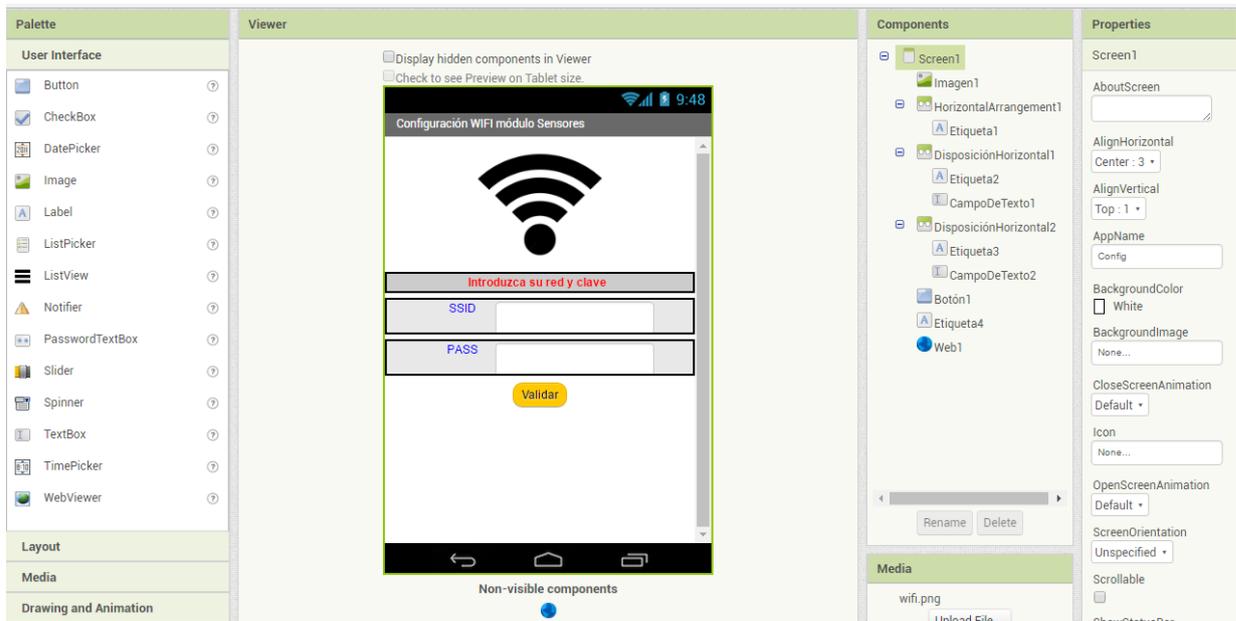
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  cuenta++;
  if (cuenta > 20) {
    Serial.println("Fallo al conectar");
    return;
  }
}
Serial.print("Conexion exitosa a: ");
Serial.println(ssid);
Serial.println(WiFi.localIP());
```

*Ilustración 119. Conexión a internet sencilla.*

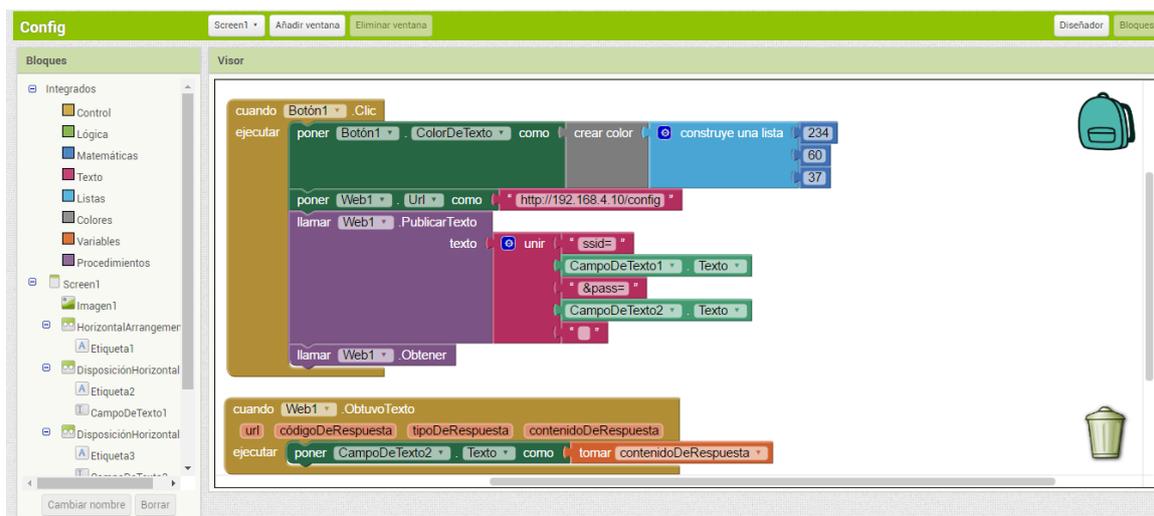
Sin embargo, este servicio está dirigido a personas que no tengan conocimiento de programación, por lo que empleará otro método más amigable y fácil de usar por el usuario. Mediante una aplicación de dispositivos Android introduciremos la ssid y el pass que en el caso que sea la correcta se guardará en la memoria no volátil de nuestro módulo. Así la próxima vez que se inicie el módulo no es necesario que introduzcamos de nuevo los datos. A continuación se describen los pasos a seguir:

**Creación de APP.** Contamos con la ayuda de una plataforma de Google Labs para crear aplicaciones de software, llamada APP Inventor. El primer paso sería generar un

proyecto para que nos lleve a una página en la que nos mostrara las herramientas básicas (cuadros de textos, botones, etc.) para crear la interface de nuestra aplicación. Creamos nuestra interface para después enlazaremos una serie de bloques para crear “los comandos” (software).



*Ilustración 120. Diseño de interface.*



*Ilustración 121. Software APP.*

## 424.16.9

### Diseño electrónico

Una vez hemos creado la App instalaremos en nuestro dispositivo un programa que nos permite descargar la aplicación compilada mediante la lectura de un código QR; automáticamente se instalará la APP tras aceptar las condiciones.

**Comunicación APP-ESP8266.** Para establecer conexión entre el dispositivo portador de la APP y el ESP8266, este tendrá que establecer una conexión como punto de acceso (AP), estableciendo un nombre (**móduloTemp**) y contraseña. Entonces conectaremos el dispositivo Android a red WIFI del módulo para teclear el *ssid* y el *pass* al que queremos que se conecte el módulo. Cuando pulsemos el botón (**Validar**) se introducirán estas variables en las variables creadas en una página web estática que se genera cuando se introduce la IP de la puerta de enlace (**192.168.4.10**) del ESP8266. Las variables de la página web "escucha" (GET) continuamente cualquier dato que pueda ser enviado. Se realiza las comprobaciones de la red WIFI y en el caso que sean correctas se guardará en la EEPROM.

```
String pral = "<html>"
            "<meta http-equiv='Content-Type' content='text/html; charset=utf-8'/>"
            "<title>WIFI CONFIG</title> <style type='text/css'> body,td,th { color: #036; } body { background-color: #999; } </style> </head>"
            "<body> "
            "<h1>WIFI CONF</h1><br>"
            "<form action='config' method='get' target='pantalla'>"
            "<fieldset align='left' style='border-style:solid; border-color:#336666; width:200px; height:180px; padding:10px; margin: 5px;'>"
            "<legend><strong>Configurar WI-FI</strong></legend>"
            "SSID: <br> <input name='ssid' type='text' size='15' /> <br><br>"
            "PASSWORD: <br> <input name='pass' type='password' size='15' /> <br><br>"
            "<input type='submit' value='Comprobar conexion' />"
            "</fieldset>"
            "</form>"
            "<iframe id='pantalla' name='pantalla' src='' width=900px height=400px frameborder='0' scrolling='no'></iframe>"
            "</body>"
            "</html>";

ESP8266WebServer server(80);//servidor web enviado por ESP.
IPAddress ipAP(192,168,4,10);
IPAddress mask(255,255,255,0);
```

*Ilustración 122. Página web respuesta ESP8266.*

```
if (reconexion() == false){
  Serial.println("Esperando conexión AP");
  WiFi.softAP("ModuloTemp");//nombre que se mostrara en las redes wifi para iniciar como AP.
  WiFi.softAPConfig(ipAP, ipAP, mask);

  server.on("/",[]){//cuando introducimos IP ESP8266 se crea una respuesta del servidor web que envia una página estática.
  server.send(200, "text/html", pral);//200=OK envio la pagina como text/html
  });
  server.on("/config", wifi_conf);//hago wifi_conf y lo envio a "form action=config"
  server.begin();

  do{
    server.handleClient();
  }while(conf == 0);

  server.stop();
  yield();
}
```

*Ilustración 123. Programa principal.*

```
//FUNCIONES
//configuracion wifi
|
void wifi_conf() {
  int cuenta = 0;

  String getssid = server.arg("ssid");//tomo los valores que envia el servidor web por GET
  String getpass = server.arg("pass"); //y lo guardo en un string.

  getssid = arregla_simbolos(getssid);//reemplazamos los simbolos que aparecen con UTF8 por el simbolo correcto
  getpass = arregla_simbolos(getpass);//y reescribimos los códigos.

  ssid_tamano = getssid.length() + 1;//calculamos la cantidad de caracteres que tiene el ssid y la clave
  pass_tamano = getpass.length() + 1;// +1 para colocar un cero en la ultima posicion.

  getssid.toCharArray(ssid, ssid_tamano);//transformamos el string en un char array y los
  getpass.toCharArray(pass, pass_tamano);//renombramos para introducirlos en WIFI.begin().

  server.stop();//-----creo que va al final
  WiFi.softAPdisconnect(true);
  WiFi.disconnect();

  WiFi.begin(ssid, pass);//intentamos conectar introduciendo los datos en formato Char.
  while (!(connected = (WiFi.status() == WL_CONNECTED))){// WL_CONNECTED es cuando se conecta. mientras no se conecte...
    delay(500);
    Serial.print(".");
    cuenta++; //por cada punto se va contando

    if (cuenta > 20) {//cuando llega a mas de 20 puntos.
      graba(100, "noconfigurado");//grabo en la eeprom en la direccion 70, "noconfigurado" y mando al "Frame config" de la página un mensaje.
      Serial.println("No se pudo conectar a la red");
      server.send(200, "text/html", String("<h2>No se pudo realizar la conexion<br>no se guardaron los datos.</h2>"));
      return;
    }
  }
  Serial.println(WiFi.localIP());//cuando se conecta imprime la IP local del ESP8266.
  graba(100, "configurado");//escribe en la direccion 70 "configurado".
  graba(130, getssid);//graba en la direccion 1 el ssid de la red pero lo guarda como String.
  graba(160, getpass);//graba en la direc 30 la contraseña como String.

  Serial.print("Conexion exitosa a: ");
  Serial.println(lee(130));
  Serial.println("Clave: *****");
  conf = 1;

  server.send(200, "text/html", String("<h2>Conexion exitosa a: " //ademas imprime en la pagina lo siguiente:
  + getssid ));
```

## 424.16.9

### Diseño electrónico

```
String arregla_simbolos(String a) { //String a es lo que escribimos en la pagina de configuración y va pasando por cada linea
//y modificando cada caracter leído por su correspondiente.

a.replace("%C3%A1", "á");
a.replace("%C3%A9", "é");
a.replace("%C3%A", "i");
a.replace("%C3%B3", "ó");
a.replace("%C3%BA", "ú");
a.replace("%21", "!");
a.replace("%23", "#");
a.replace("%24", "$");
a.replace("%25", "%");
a.replace("%26", "&");
a.replace("%27", "/");
a.replace("%28", "(");
a.replace("%29", ")");
a.replace("%3D", "=");
a.replace("%3F", "?");
a.replace("%27", "'");
a.replace("%C2%BF", "¿");
a.replace("%C2%A1", "¡");
a.replace("%C3%B1", "ñ");
a.replace("%C3%91", "Ñ");
a.replace("+", " ");
a.replace("%2B", "+");
a.replace("%22", "\"");
return a;
}

void graba(int addr, String a) {
int tamano = (a.length() + 1); //mido el tamaño de a es decir la contraseña, ssid o config/noconfig
Serial.print(tamano);
char inchar[30]; //30' Tamaño maximo del string
a.toCharArray(inchar, tamano); //lo transformo en char
EEPROM.write(addr, tamano);

for (int i = 0; i < tamano; i++) {
addr++;
EEPROM.write(addr, inchar[i]); //la sentencia .write(posicion, valor) escribe pero no guarda
} //directamente sino que tenemos que usar .commit
EEPROM.commit();
}

String lee(int addr) {
String nuevoString;
int valor;
int tamano = EEPROM.read(addr); //lee la direccion introducida
for (int i = 0; i < tamano; i++) {
addr++;
valor = EEPROM.read(addr);
nuevoString += (char)valor; //nuevoString es el contenido
}
return nuevoString;
}

bool reconexion() {
if ((lee(100).equals("configurado"))){ //si la direccion 70 dice "configurado" y ya sabemos la contraseña y red.
ssid_leido = lee(130); //leemos ssid y password.
pass_leido = lee(160);

ssid_tamano = ssid_leido.length() + 1; //calculamos la cantidad de caracteres que tiene el ssid y la clave.
pass_tamano = pass_leido.length() + 1;

ssid_leido.toCharArray(ssid, ssid_tamano); //transf. el String en un char array ya que es lo que nos pide WiFi.begin().
pass_leido.toCharArray(pass, pass_tamano);

int cuenta = 0;
WiFi.begin(ssid, pass); //intentamos conectar con las contraseña y red leida de la eeprom.
}
```

```

while (!(connected = (WiFi.status() == WL_CONNECTED))){// WL_CONNECTED es cuando se conecta. mientras no se conecte...
  delay(500);
  cuenta++;
  if (cuenta > 20) {
    Serial.println("Fallo al conectar");
    conf = 0;
    return false;
  }
}
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  Serial.print("Conexion exitosa a: ");
  Serial.println(ssid);
  Serial.println(WiFi.localIP());
  conf = 1;
  return true;
}
}
conf=0;
return false;
}

```

*Ilustración 124. Funciones auxiliares.*

Otra forma de realizar la configuración es directamente introduciendo la IP del ESP8266 en el navegador de cualquier dispositivo (Android e iOS) previamente conectándolo a la red WIFI del ESP8266. Tras introducir los datos pulsamos sobre **comprobar conexión** y nos mostrará un mensaje indicándonos si se ha podido conectar o no a la red WIFI.



*Ilustración 125. Configuración mediante iPhone.*

424.16.9

Diseño electrónico

### 4.5.1.2. Información y configuración de base de datos

Los datos obtenidos por el módulo sensores serán mostrados en una página web (previa conexión con internet), en la que además de ver estos valores se podrá apreciar la evolución de las distintas variables con el paso del tiempo. Pero antes de nada estos serán almacenados en una base de datos. El carácter Open Source de **MySQL** lo hace ideal para esta labor. Este sistema de gestión forma parte, junto con el servidor web **Apache** e intérpretes **PHP y Perl**, del servidor **XAMPP**.



Ilustración 126. Logo XAMPP.

En la creación de la base de datos mencionados se tendrán en cuenta una serie de factores, como un nombre identificativo, el tipo de datos, la nulidad...



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra
1	ID	int(255)			No	Ninguna	AUTO_INCREMENT
2	Fecha-hora	timestamp			No	CURRENT_TIMESTAMP	
3	luminosidad	int(255)			No	Ninguna	
4	co2	int(255)			No	Ninguna	
5	hum_aire	double			No	Ninguna	
6	hum_suelo	double			No	Ninguna	
7	temp	double			No	Ninguna	
8	lluvia	varchar(255)			No	Ninguna	

Ilustración 127. Estructura interna de la base de datos

### 4.5.1.3. Envío de datos desde módulo de sensores

```
#include <ESP8266WiFi.h>

unsigned long ultimaConexion = 0;
boolean ultimoEstado = false;
const unsigned long intervaloConexion = 20000;
char server[] = "192.168.1.20";//IP pagina web
WiFiClient client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  //Conexión a internet
}

void loop() {

  if(!client.connected() && ultimoEstado){//si no hay cliente y hay una conexion anterior me descon
    Serial.println();
    Serial.println("Desconectado");
    client.stop();
  }

  if(!client.connected() && (millis() - ultimaConexion > intervaloConexion)){ //si no está conectado y han paso X segundos se conecta

                                                                    //al servidor web

    if(client.connect(server,80)){
      client.print( "GET /Invernadero/sensoresESP.php?");
      client.print("luminosidad=");
      client.print(luminosidad);
      client.print("&");
      client.print("co2=");
      client.print(co2);
      client.print("&");
      client.print("hum_aire=");
      client.print(hum_aire);
      client.print("&");
      client.print("hum_suelo=");
      client.print(hum_suelo);
      client.print("&");
      client.print("temp=");
      client.print(temp);

      client.println(" HTTP/1.1");
      client.print( "Host: " );
      client.println(server);
      client.println("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded");
      Serial.println("Enviado");
      client.flush();
      client.println();
      client.stop();
      ultimaConexion = millis();
    }
    else {
      Serial.println("Fallo en la conexion del servidor");
      client.stop();
    }
  }
  ultimoEstado = client.connected();
}
```

Programa 12. Envío de datos desde el módulo sensor.

## 424.16.9

### Diseño electrónico

Es necesario contar con conexión a internet, una dirección IP y un puerto para poder iniciar la conexión. Otra condición importante para poder iniciarla es que no haya una conexión activa y haya transcurrido un cierto tiempo (**intervaloConexion**). Una vez se haya conectado enviaremos las variables una a una seguido por el conector **&**. Se espera que todo haya sido enviado con éxito para finalizar la conexión.

#### 4.5.1.4. *Recepción de valores enviados desde módulo*

Una vez los datos estén dispuestos para enviar se realiza la obtención de valores enviados; para ello contamos con un código en **PHP** en el que captura los datos empleando el método **GET**. Este código escucha la información y la introduce en la tabla de nuestra base de datos, previa conexión realizada. Es importante que las variables de tanto el que envía como el que recibe coincidan, de caso contrario alguna variable no será tomada correctamente. Estos valores tomados se asignan a una columna de tabla (nombre).

```
<?php
$dbhost = "localhost";
$dbuser = "root";
$dbpass = "";
$dbname = "sensores";

mysql_connect($dbhost, $dbuser, $dbpass) or die("Imposible conectarse al servidor.");
mysql_select_db($dbname) or die("Imposible abrir Base de datos.");
$sql = "INSERT into valores (luminosidad,co2,hum_aire,hum_suelo,temp,lluvia) values ('".$_GET["luminosidad"]
    "','".$_GET['co2']. "','".$_GET["hum_aire"]. "','".$_GET["hum_suelo"]. "','".$_GET["temp"]. "','".$_GET["lluvia"]. "')";
mysql_query($sql);
?>
```

*Programa 13. Código recepción de valores.*

Los valores recibidos y guardados tienen un identificador **ID** (primario), el cual autoincrementa cada vez que se recibe un nuevo dato, y un factor tiempo **Fecha-Hora** que guarda la fecha y la hora del momento en que es recibido el dato. El resto de valores que provienen de los sensores se asignará un tipo de dato con el que se trabajará (int, double, varchar). Se puede ver que se reciben valores cada 30 segundos. Se debe primero al `deepsleep` de 20 segundos y el tiempo que tarda en cargar en la base de datos.

<input type="checkbox"/>				129	2016-11-14 00:22:12	20	1000	28	80	21.8	no
<input type="checkbox"/>				130	2016-11-14 00:22:44	30	1000	28	60	22	no
<input type="checkbox"/>				131	2016-11-14 00:23:14	40	1000	30	65	25.5	no
<input type="checkbox"/>				132	2016-11-14 00:23:48	30	1000	50	70	20	sí

Ilustración 128. Mediciones guardadas en la base de datos.

Sin embargo este trabajo se realizará en "secreto" pues aun el usuario no podría apreciar las condiciones del invernadero. En nuestra página web incluiremos las siguientes líneas de código PHP donde deseamos mostrar las variables. Previamente hay que realizar la conexión con la base de datos y se realiza exactamente igual que la consulta anterior.

```
<?php
//definición de credenciales
$dbhost = "localhost";
$dbuser = "root";
$dbpass = "";
$dbname = "sensores";

$con = mysql_connect($dbhost, $dbuser, $dbpass);
mysql_select_db($dbname);

?>
```

Programa 14. Conexión con base de datos (config.php).

```
<?php
include("config.php");
$result = mysql_query("SELECT * FROM valores ORDER BY ID desc", $con);
$extraido = mysql_fetch_array($result);

printf("<div id='valores'>%s</div>", $extraido["luminosidad"]);

$self = $_SERVER['PHP_SELF'];
header("refresh:30; url = $self");

mysql_free_result($result);

?>
```

Programa 15. Para mostrar valor en página web.

Se selecciona la última línea de datos que se encuentra en la tabla, de la cual se obtendrá el array asociativo en el que se incluyen todos los valores. Se selecciona el

---

**424.16.9**

Diseño electrónico

valor que se desee mostrar, o sea la variable, y se imprime. Para finalizar se libera la memoria del resultado.

### *4.5.2. Comunicación entre módulo sensores y modulo actuador*

La comunicación entre ambos módulos se basa en la configuración del módulo sensores como cliente y del módulo actuador como servidor (modo **AP**). El cliente enviará los datos obtenidos de los sensores siempre que se establezca la conexión entre ambos, es decir el servidor se conecte con la IP (puerto de enlace) del servidor que es **192.168.4.1** por defecto pero puede ser cambiada. Para que se pueda realizar esta conexión es necesario que el servidor sea proveedor de una red WIFI y el cliente se conecte a esa red.

El servidor para iniciarse debe introducir un nombre como SSID y un PASS para que cualquier dispositivo pueda conectarse a esa red empleando los datos de identificación.

```
//configuración de cliente-servidor ESP866.  
char* RusSsid;  
char* RusPass;  
IPAddress RusServer(192,168,4,1);  
WiFiClient RusClient;
```

```
WiFi.begin("Rus");

Serial.println("Conectando a " + WiFi.SSID() + "... ");

while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("Dispositivo cliente conectado");

//imprime direcciones IP
Serial.println("Connected To      : " + String(WiFi.SSID()));
Serial.println("Signal Strenght   : " + String(WiFi.RSSI()) + " dBm");
Serial.print  ("Server IP Address : ");
Serial.println(RusServer);
Serial.print  ("Device IP Address : ");
Serial.println(WiFi.localIP());

RusClient.stop();
if(RusClient.connect(RusServer, 9001)){
  Serial.println("<Cliente conectado>");
  RusClient.println("<Cliente conectado>");
}

if (RusClient.connected()){
  Serial.println("Hora\t\tLuminosidad (\t)\tCO2\t\tHumedad suelo (\t)\tHumedad aire (\t)\tTemperatura (C)\tLluvia?");
  RusClient.println("Hora\t\tLuminosidad (\t)\tCO2\t\tHumedad suelo (\t)\tHumedad aire (\t)\tTemperatura (C)\tLluvia?");
  a = rtc.getTime();
  pasaHora(a);//primero imprimo la hora en el serial y en módulo actuador.
  RusClient.print("\t\t\t");//tabula e imprime la luminosidad en el módulo actuador.
  RusClient.print(luminosidad);
  Serial.print("\t\t\t");//tabula e imprime la luminosidad en el serial.
  Serial.print(luminosidad);
  RusClient.print("\t\t\t");//tabula e imprime el co2 en el módulo actuador.
  RusClient.print(co2);
  Serial.print("\t\t\t");//tabula e imprime el co2 en el serial.
  Serial.print(co2);
  RusClient.print("\t\t\t");//tabula e imprime la humeda del suelo en el módulo actuador.
  RusClient.print(hum_suelo);
  Serial.print("\t\t\t");//tabula e imprime la humedad del suelo en el serial.
  Serial.print(hum_suelo);
  RusClient.print("\t\t\t");//tabula e imprime la humedad en el módulo actuador.
  RusClient.print(hum_aire);
  Serial.print("\t\t\t");//tabula e imprime la humedad en el serial.
  Serial.print(hum_aire);
  RusClient.print("\t\t\t");//tabula e imprime la temperatura en el módulo actuador.
  RusClient.print(temp);
  Serial.print("\t\t\t");//tabula e imprime la temperatura en el serial.
```

---

**424.16.9**

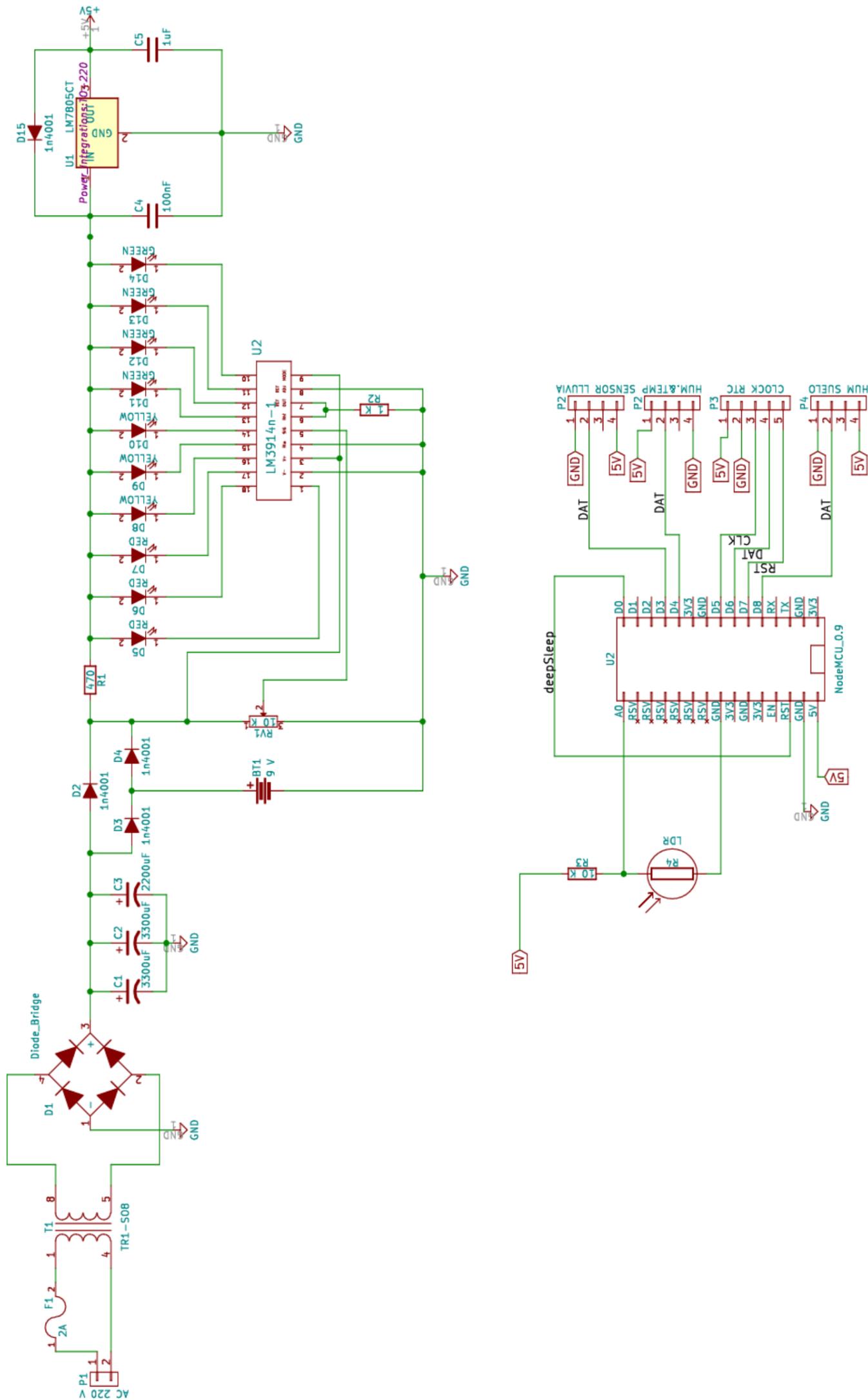
Diseño electrónico

```
Serial.print(temp);
if (sensorLluvia==LOW){
  RusClient.print("\t\t\t");
  RusClient.print("Si");
  Serial.print("\t\t\t");
  Serial.println("Si");
}
if (sensorLluvia==HIGH){
  RusClient.print("\t\t\t");
  RusClient.print("No");
  Serial.print("\t\t\t");
  Serial.println("No");
}
}
else{
  return;
}
}
```

*Programa 16. Envío de datos a servidor.*

## 4.6. ESQUEMA DEL PROTOTIPO

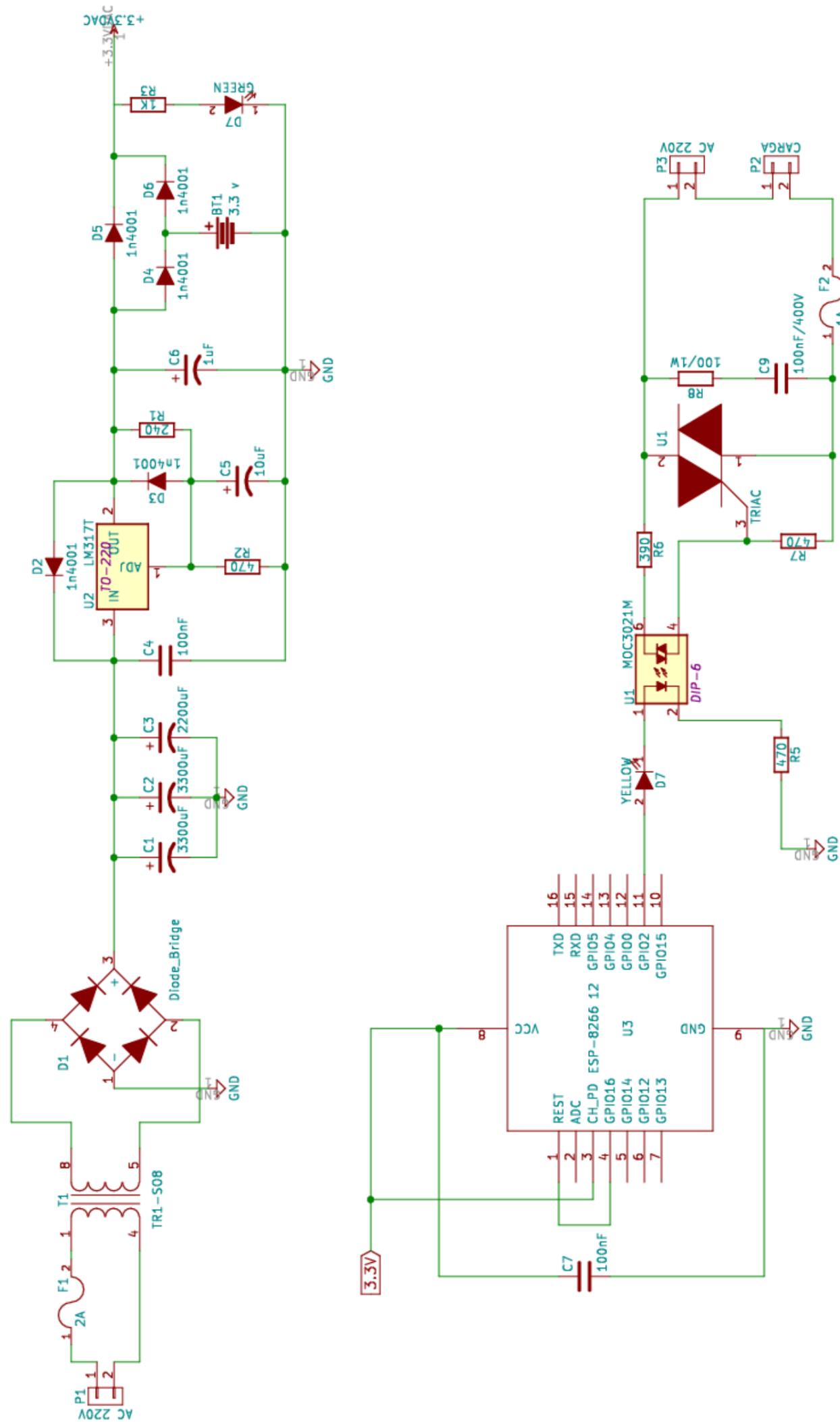
### 4.6.1. Modulo sensores



424.16.9

Diseño electrónico

4.6.2. Módulo actuadores



### 4.6.3. Fotos de los prototipos

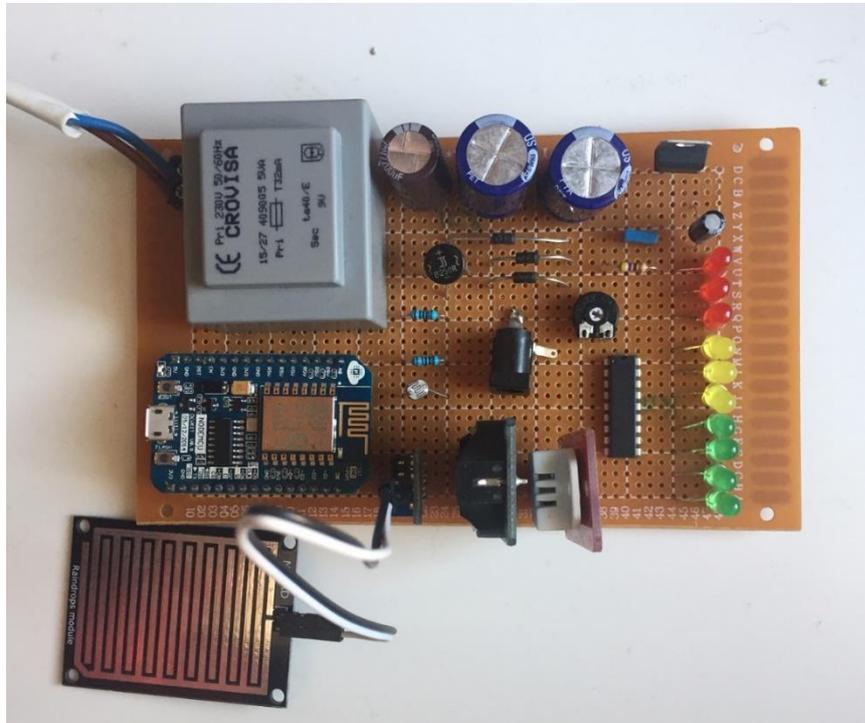


Ilustración 129. Foto módulo de sensores.

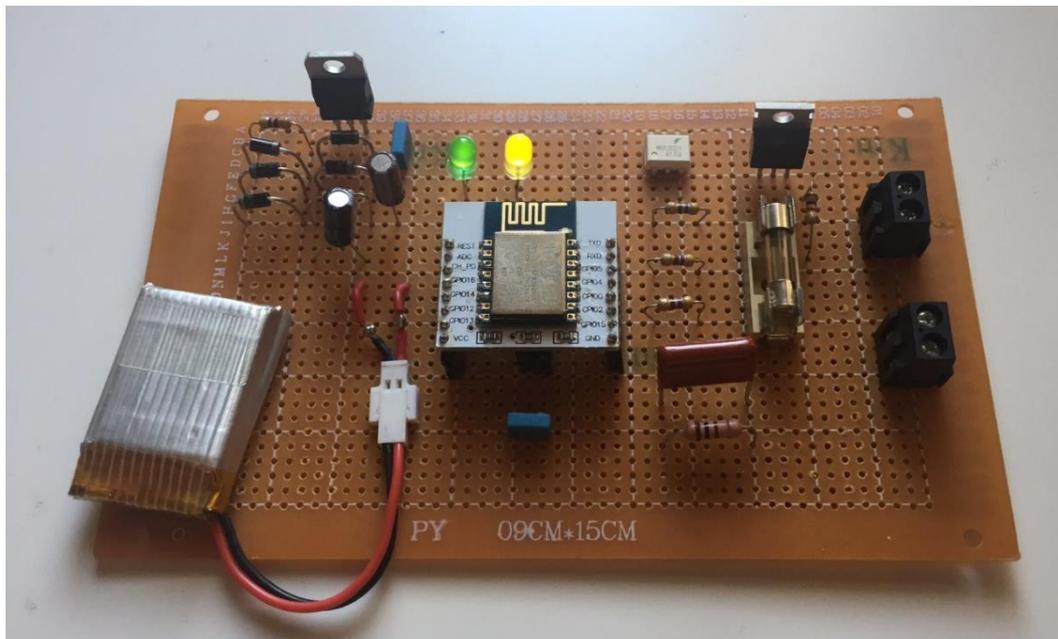


Ilustración 130. Foto módulo de actuadores.

## 4.7. ESTRATEGIA DE CONTROL

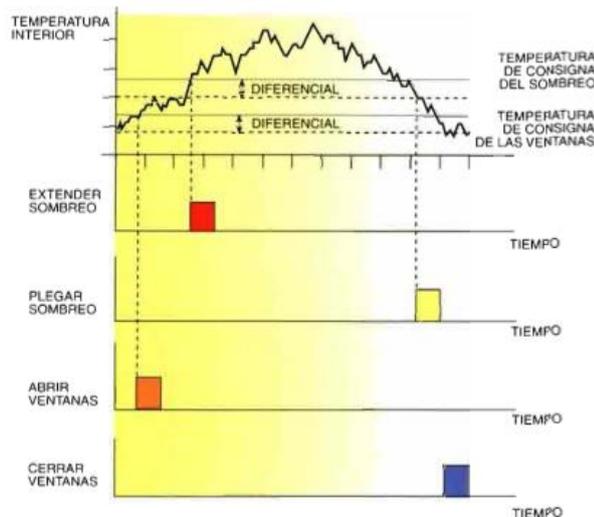
Es importante saber que es conveniente una temperatura más alta durante el día para que durante la noche este calor se mantenga. Por tanto se definen dos consignas diarias: una para el periodo nocturno y otra para el periodo diurno.

Ahora bien utilizaremos parámetros como la temperatura interior, la humedad relativa interior, la dirección y velocidad del viento exterior y presencia de lluvia. Ahora estableceremos una serie de posibles estrategias:

**Prioridad 1:** velocidad del viento y lluvia. Las ventanas se cierran si el viento alcanza niveles peligrosos y también si llueve. Son velocidades de viento peligrosas las superiores a 35-40 km/h (alrededor de 10 m/s), lo que es improbable que suceda. El objetivo es evitar roturas de plástico o ventanas por viento y la entrada de agua de lluvia en el invernadero. Por lluvia (o en ocasiones, también por viento) pueden cerrarse solo las ventanas cenitales y no las laterales, porque la entrada de agua de lluvia (y las roturas por viento) son menores en las laterales. Para evitar que las ventanas estén abriendo y cerrando continuamente una opción posible es que el programa de control integre valores de velocidad de viento a lo largo de periodos de cinco minutos; si la integral supera un cierto un cierto valor de consigna, las ventanas se cierran durante un periodo de tiempo superior, fijo, por ejemplo veinte minutos. En caso de lluvia o viento excesivo se puede emplear los ventiladores. Siempre se emplearán los circuladores de aire tanto como si hay o no viento.

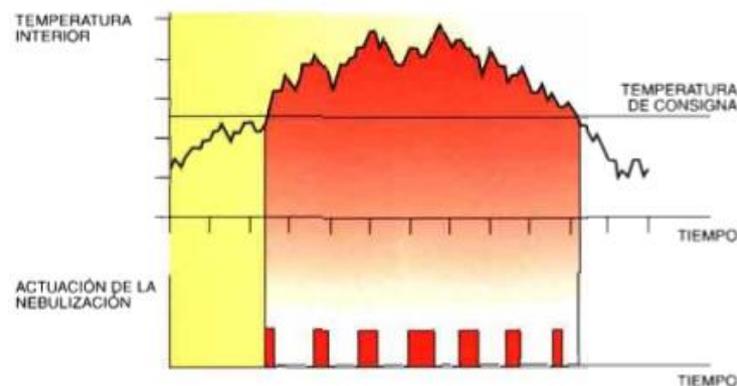
**Prioridad 2:** humedad relativa interior. Las ventanas se abren si el valor de la humedad relativa en el interior del invernadero supera el valor de consigna, por ejemplo, el 95%. Las ventanas no se abren por completo por esta causa, sino solo unos centímetros. Por supuesto, las ventanas se cierran si aparece algún factor de prioridad 1, sea viento o lluvia. Si el valor de humedad es bajo o hay viento fuerte emplearemos otro sistema de aumentar la humedad relativa: el sistema de nebulización durante ciclos. Cuando empleemos este sistema extenderemos la pantalla de sombreo primero para que recoja la posible condensación de humedad y segundo para reducir la temperatura.

**Prioridad 3:** temperatura. El objetivo es ventilar el invernadero para reducir la temperatura. Se abrirán (primero a sotavento y luego a barlovento) cuando la temperatura supere la consigna y se cerrarán cuando la temperatura descienda por debajo de la consigna menos el diferencial. La alternativa es utilizar un control proporcional, de forma que el grado de apertura de las ventanas sea mayor cuanto mayor sea la temperatura en el invernadero, es decir, mayor sea la diferencia entre la temperatura real y la consigna. A una consigna superior activaremos los ventiladores o la pared húmeda con la que conseguiremos aire interior fresco y húmedo. Eso sí abriremos las ventanas siempre y cuando no este lloviendo o haya viento leve. En tal caso se pueden extender las pantallas de sombreado a una temperatura de consigna baja con las que regularemos también la humedad.



*Ilustración 131. Control de ventana y pantalla de sombreado en función de la temperatura.*

Una posible mejora consiste en hacer depender el control de una consigna de temperatura interior, de forma que si la temperatura es inferior a la consigna la nebulización no se produzca, siempre operando de forma cíclica y entre las dos horas predefinidas. El diferencial no parece necesario, puesto que en cualquier el equipo tiene que arrancar y parar.



*Ilustración 132. Control de nebulización.*

A partir de esta temperatura los ciclos se mantendrían de forma constante cada cuatro minutos. También se puede variar el tiempo de nebulización. Se debe tener en cuenta que cuando funcione la nebulización, la ventilación deber ser máxima; por tanto, si por cualquier razón las ventanas se cierran, la nebulización ha de detenerse automáticamente. Si esto no ocurre, el agua condensara y mojará el cultivo y la instalación. La consigna de nebulización debería ser superior a la de las ventanas (y del sombreado) para que funcione menos tiempo, ya que consume agua y electricidad; si es posible, es mejor mantener la temperatura solo con ventanas y sombreado.

### **Cuestiones a tener en cuenta sobre las pantallas energéticas**

El objetivo de las pantallas térmicas es distinto en invierno y en verano. En invierno, se extienden de noche y se recogen de día, para ahorrar energía en calefacción; en verano se recogen de noche y se extienden por el día, para sombrear y reducir la radiación y la temperatura. Si se combina la actuación del sensor de temperatura con un horario, el control puede ser todo/nada con un diferencial:

- Si es de día y la temperatura supera la consigna, se extiende la pantalla; si cae por debajo de la consigna menos el diferencial, se recoge. La consigna de las pantallas para sombreado debería ser superior a la consigna de las ventanas, de forma que las ventanas actúen primero. Hay que tener en cuenta que la malla resta radiación solar, y puede disminuir la producción.

- Si es de noche y la temperatura cae por debajo de la consigna, se extiende la pantalla; si supera la consigna más el diferencial, se recoge. Esta consigna nocturna, cuyo objetivo es el ahorro energético, será distinta de la diurna, en la que el objetivo es la ventilación y refrigeración.

Si se utilizan sensores de temperatura interior y radiación exterior, el control puede ser también todo/nada con diferencial, tanto en temperatura como en radiación, con las siguientes premisas:

- Si la radiación solar exterior supera la consigna de radiación se extiende la pantalla térmica para sombrear; si desciende por debajo de la consigna menos el diferencial se recoge.
- Si la radiación solar exterior es próxima a cero el control de la pantalla térmica se realiza en función de la temperatura. Si la temperatura del invernadero descienden por debajo de la consigna de temperatura se extienden para disminuir las pérdidas de energía; si aumenta por encima de la consigna más el diferencial se recoge. La consigna de la pantalla térmica para ahorro de energía debe ser superior a la de los sistemas de calefacción, para que primero actúe la pantalla y después la calefacción.

Durante la noche recomiendan mediar la humedad relativa en el interior de la pantalla y abrir unos centímetros la pantalla si la humedad se aproxima a la saturación, para ventilar y evitar condensaciones. Este último problema se debe a que las pantallas utilizadas normalmente en el norte de Europa son continuas y no permiten el paso de vapor de agua, mientras que las utilizadas en zonas mediterráneas son discontinuas y sí permiten el intercambio gaseoso.

### **Cuestiones a tener cuenta sobre la nebulización**

El sistema de nebulización permite mantener los valores de humedad dentro del invernadero alrededor del valor de consigna, normalmente situado en el 60%. Del mismo modo, el sistema permite disminuir la temperatura dentro del invernadero incluso por debajo de los valores que se alcanzan en el exterior. El sistema de nebulización se activa cuando la temperatura supera los 34,8 °C y pulveriza agua durante al menos 2 segundos a intervalos de tiempo de más de 4 segundos.

**424.16.9**

Diseño electrónico

También es importante destacar que el empleo de pantallas térmicas bajo la cubierta del invernadero, y de doble lámina en los laterales, permiten reducir las pérdidas de calor por convección-conducción y por radiación infrarroja (durante la noche).

En la mayoría de situaciones climáticas la utilización de las mallas de sombreo (Foto 5), que pueden reducir hasta en un 30% la energía que es necesario eliminar del invernadero, y la evapotranspiración del cultivo (Foto 6), que absorbe hasta un 50% de la energía solar, permiten mantener la temperatura interior en los valores deseados. La malla de sombreo se despliega cuando la temperatura supera los 30 °C.

En el caso de temperaturas exteriores extremas de 38 °C la utilización de la nebulización puede mantener la temperatura dentro del invernadero a 25 °C.

### 4.7.1. Interfaces de control

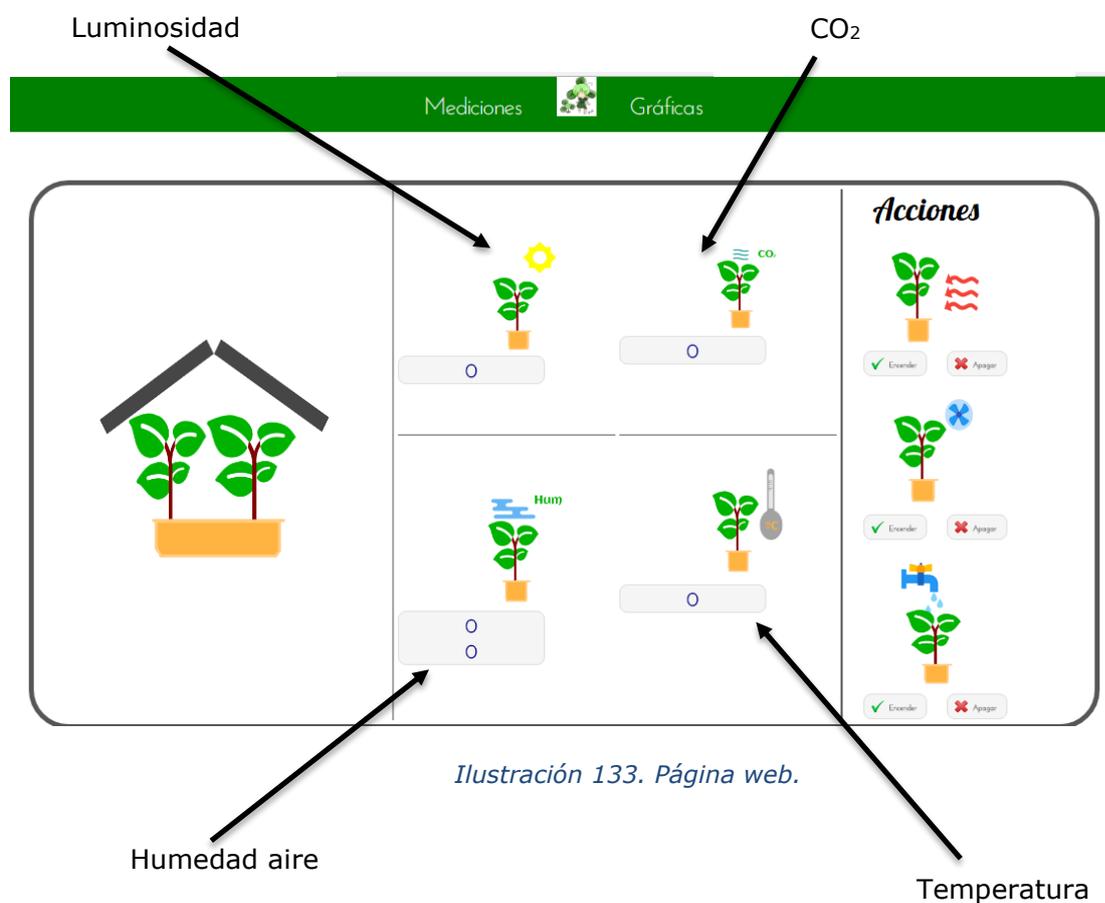


Ilustración 133. Página web.

Configuración WIFI módulo Sensores



**Introduzca su red y clave**

SSID

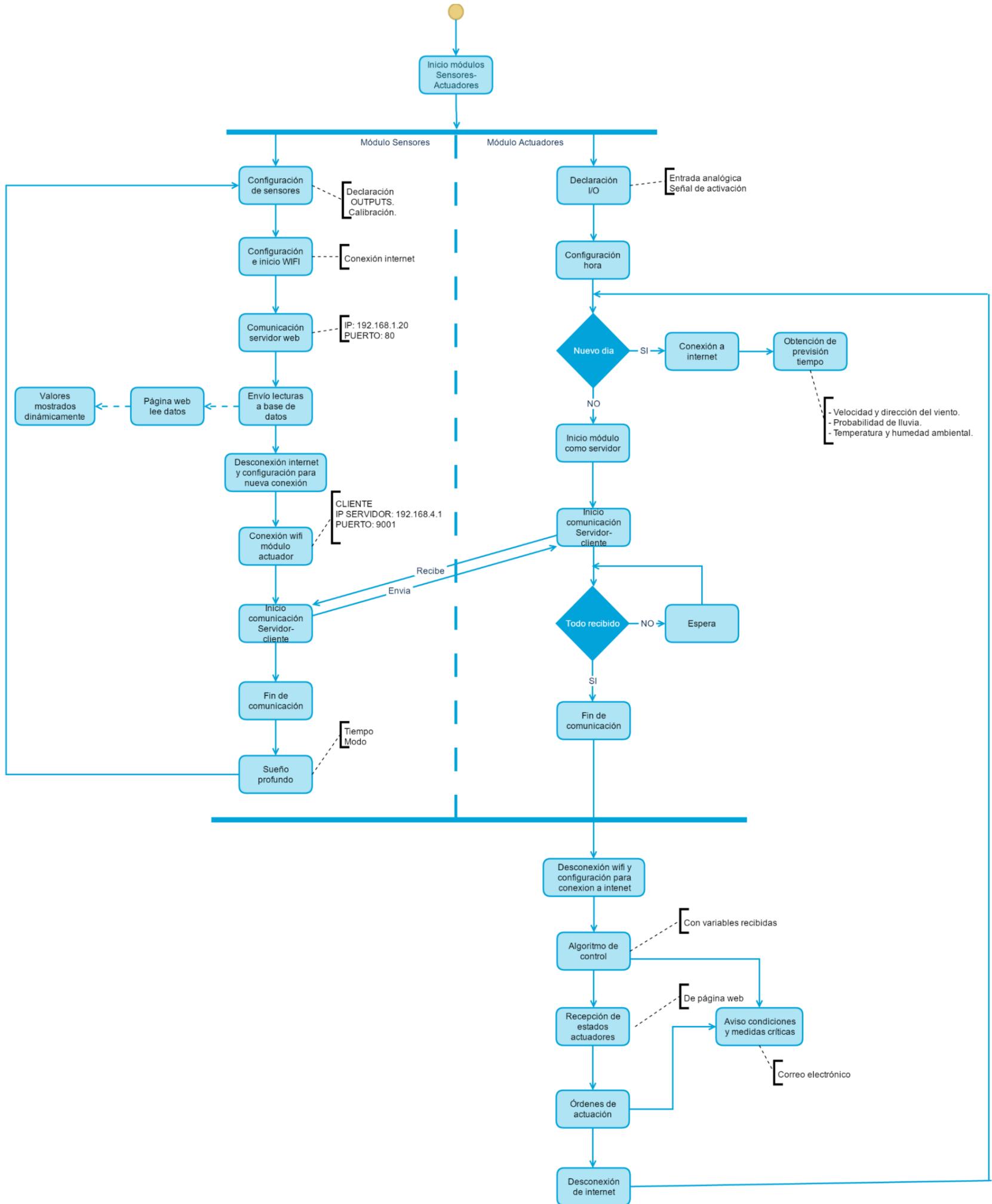
PASS

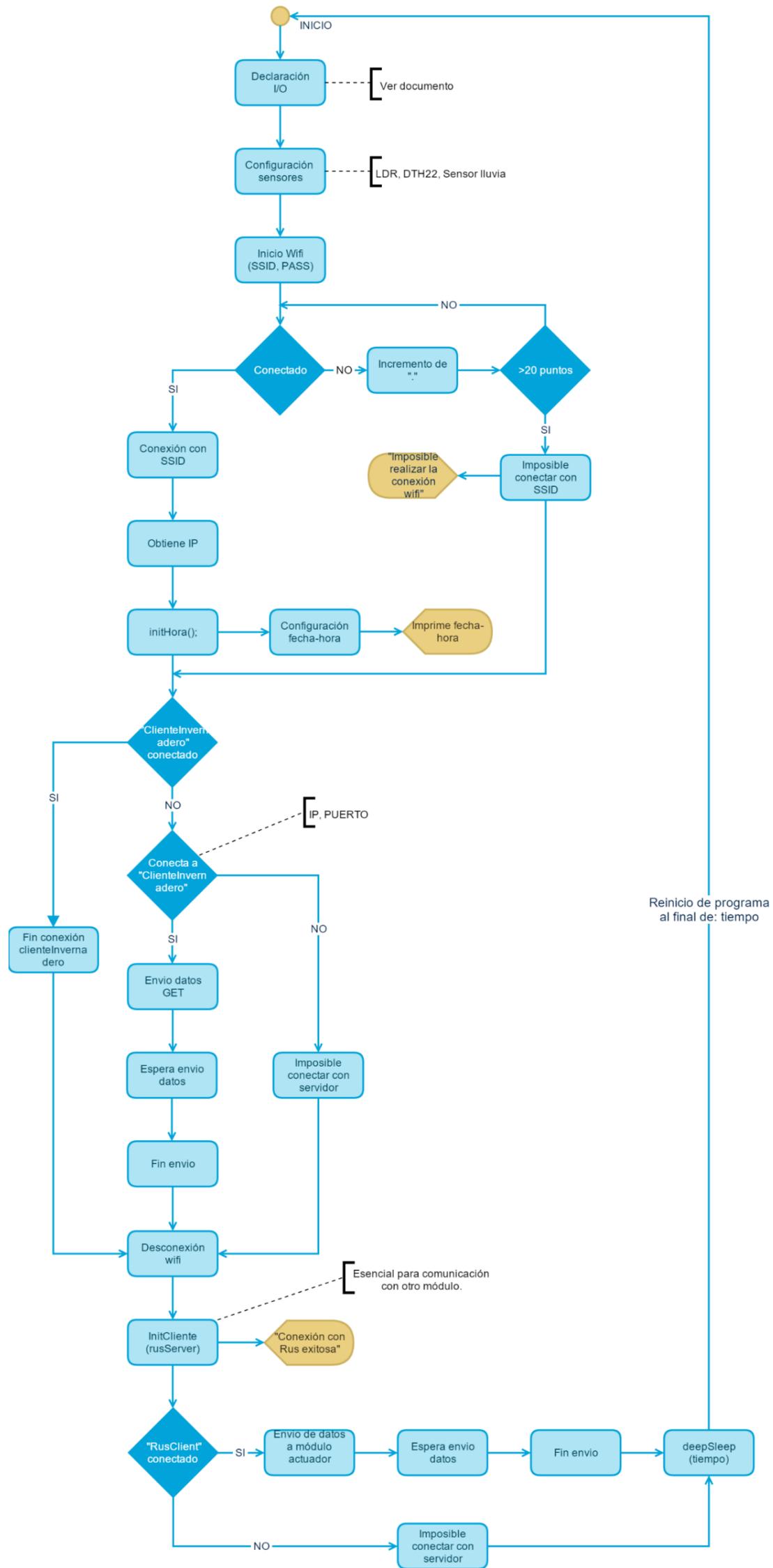
Validar

Ilustración 134. APP Android.

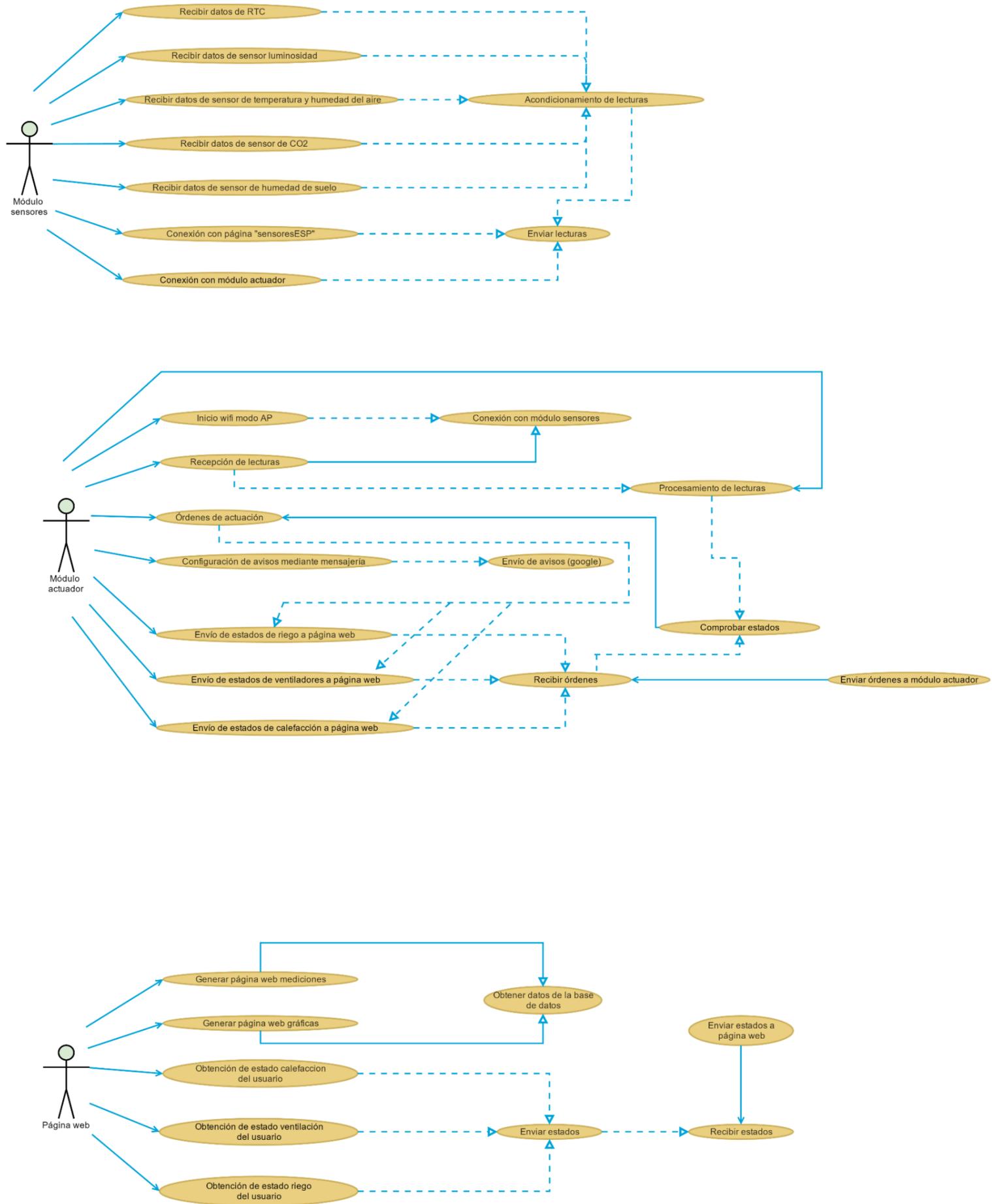
### 4.7.2. Diagramas UML

#### 4.7.2.1. Diagramas de actividad





4.7.2.2. Casos de uso



## 5. CONCLUSIONES

Mediante este sistema de automatización y es posible controlar las variables del invernadero de forma eficaz, a la vez que es un sistema fácil de implementar y usar por los usuarios gracias a las distintas interfaces. El punto fuerte se basa en la interconexión de distintos dispositivos empleando costes sumamente bajos. Los 5 euros del módulo WIFI está sumamente amortizado por la gran versatilidad del módulo WIFI, así como su reducido tamaño nos permite conseguir un interesante dispositivo que nos permite acceder a una mayor cantidad de servicios gracias a su conexión a internet. Además su carácter Open Source permite una mayor accesibilidad a esos servicios.

Se realizó una placa prototipo para obtención de variables y otra para la actuación, comprobando su eficaz funcionamiento del dispositivo, además de los distintos diagramas UML.

En su conjunto se puede decir que cumplimos con creces nuestro objetivo de diseño de invernadero para latitud 0°0'0" con parte de su equipamiento y sistema de control en tiempo real basado en microcontroladores. De esta forma contribuimos al máximo aprovechamiento del potencial que tiene Latinoamérica en el sector agrario.

### **Trabajos futuros**

Cálculo de distintos actuadores (cantidad, potencia, localización, etc.) para ser implementados de forma sencilla en el dispositivo de control pues ya han sido tomados en cuenta en su programación.

Fuente de alimentación de apoyo (SAI) para todo el invernadero, de tal forma que ningún sistema eléctrico u electrónico se quede sin su alimentación y se pueda continuar con el cuidado de las plantas: ventiladores, motorreductores, bombas...

Es importante tener en cuenta la vulnerabilidad que tiene tener acceso a internet pudiendo ser el blanco de cualquier ciberataque. Además tener una buena protección para las conexiones realizadas, así como la creación de contraseñas con nivel alto de protección son esenciales, pues los módulos trabajan en su totalidad con esta tecnología.

---

Conclusiones

Creación de una nube en la que cualquier usuario pueda ingresar desde cualquier dispositivo electrónico y comprobar las distintas variables internas del invernadero, así como interactuar entre todos los componentes.

Muestra de evolución de las condiciones climáticas en página web. Mediante gráfica en función del tiempo se mostrarán como han ido cambiando cada una de las variables las cuales nos permitan tomar las medidas previsoras pertinentes.

Disponer de una base de datos en la que nos informa del modo de actuación del cultivo actual y que nos informará de las variables idóneas para que el cultivo crezca. En esta base se incluirán varias especies de cultivos en el que se puedan ampliar la variedad de cultivos.

Implementación de algún sistema wearable con el que facilitar el seguimiento de la planta: crecimiento hasta que ya se pueda recolectar. Un guante con lector de códigos que nos permita realizar el seguimiento de cada planta con el que nos aseguramos un mejor cuidado.



*Ilustración 135. Wearable.*

Colocación de robot para cultivo de plantas, que nos permitan agilizar y reducir el personal del invernadero.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A., & Aguilar, A. (s. f.). AUTOMATIZACIÓN DE BAJO COSTO UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN INVERNADEROS Y HUERTOS CASEROS. Recuperado a partir de <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/StudentPapers/SP037.pdf>
- Cama-Pinto, A., Gil-Montoya, F., Gómez-López, J., García-Cruz, A., & Manzano-Aguilario, F. (2014). Wireless surveillance sytem for greenhouse crops. *Dyna*, 81(184), 164–170.
- Hernanz Hernanz, M. Á., & others. (2014). Sistema de control y gestión de invernadero automatizado con Arduino (Hortduino). Recuperado a partir de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/5863>
- Kevin Ashton. (s. f.). That «Internet of Things» Thing - Page 1 - RFID Journal. Recupe- rado 26 de agosto de 2016, a partir de [http://www.rfidjournal.com/arti- cles/view?4986](http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986)
- Lugo Espinosa, O., Pérez, V., Alexis, G., Luna, D., Aurora, S., Lugo Espinosa, O., ... Aurora, S. (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 77-84.
- Mendoza Mondragón, F. (2015, abril 3). *Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en micro- controladores de alto rendimiento* (Thesis). Recuperado a partir de <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/2644>
- Salazar, J. E. G., Fernández, V. E. E., & Capote, A. R. L. (2015). Sistema inalámbrico de registro climático para invernaderos artesanales. *Revista Telem@tica*, 14(2), 58-71.

### Otras fuentes consultadas

<https://www.arduino.cc/>

<https://github.com/esp8266/Arduino>

<https://github.com/nodemcu/nodemcu-firmware>

<http://upcom-mons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9080/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://www.agroredes.com.ar/index.php?acc=40&idP=160>

[http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_vrural%2FVrural\\_2002\\_152\\_42\\_45.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_vrural%2FVrural_2002_152_42_45.pdf)

[http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_Hort/Hort\\_2001\\_151\\_18\\_26.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_2001_151_18_26.pdf)

<https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/doc/boards.md#nodemcu-09->

<http://www.prometec.net/>

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/s8630s/s8630s02.pdf>

[http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_vrural/Vrural\\_2004\\_199\\_44\\_47.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_vrural/Vrural_2004_199_44_47.pdf)

<http://www.esp8266.com/viewtopic.php?f=18&t=1418>

[http://librosweb.es/libro/ajax/capitulo\\_10/la\\_libreria\\_jquery.html](http://librosweb.es/libro/ajax/capitulo_10/la_libreria_jquery.html)

<http://aprenderaprogramar.com/>

<https://blog.hwtrek.com/internet-of-things-5-applications-in-agriculture/>

<https://www.wunderground.com/>

<http://www.instructables.com/id/ESP8266-12-blynk-wireless-temperature-e-humidity-D/>

## Relación de documentos

(X) Memoria .....	196	páginas
(_) Presupuesto .....	6	páginas

La Almunia, a 29 de noviembre de 2016

Firmado: Ruosbelt Barraqueta Livizaca