



**Universidad  
Zaragoza**

## **Trabajo Fin de Grado**

**“Diseño y prototipado de un dispositivo controlador de las condiciones ambientales, de un espacio cerrado, para estimular el crecimiento de setas.”**

**“Design and prototyping of a device to control environmental conditions, in a closed space, to stimulate mushroom growth.”**

Autor/es

**Nils Javier Elbing**

Director/es

**David Ranz Angulo  
Pedro Ubieto Artur**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad de Zaragoza  
2019

# 0.1 RESUMEN

"Diseño y prototipado de un dispositivo controlador de las condiciones ambientales, de un espacio cerrado, para estimular el crecimiento de setas."

En este proyecto de fin de grado se ha desarrollado un prototipo funcional de un dispositivo destinado a controlar las condiciones ambientales en espacios cerrados para estimular el crecimiento de setas.

Las condiciones a regular fueron la temperatura, la humedad, la luz, la ventilación y la duración de cada etapa de crecimiento.

Para crear el prototipo se han realizado varias fases:

- Un estudio sobre las setas de ostra con el fin de sintetizar las distintas fases de su crecimiento y las condiciones ambientales más favorables.
- Se ha diseñado un circuito electrónico con los componentes capaces de recrear las condiciones del crecimiento.
- Se ha escrito un programa informático capaz de controlar el circuito eléctrico.
- Se ha diseñado un cuerpo impreso en 3D capaz de albergar todos los componentes y de anclarse al volumen en el que se cultivan las setas.

A partir de este prototipo se han realizado diversas pruebas de funcionamiento, llegando a una serie de conclusiones que se han de implementar en el diseño final del producto.

Se ha realizado una exploración formal llegando a una propuesta formal para el diseño final.

Finalmente se ha llegado a una serie de conclusiones sobre las pruebas y estudios realizados, con los aciertos y desaciertos, y sobre los aprendizajes adquiridos durante el proyecto.

# 0.2 ÍNDICE

0.1 RESUMEN .....	2
0.2 ÍNDICE .....	3
0.3 INTRODUCCIÓN.....	4
1 CONCLUSIONES TRABAJO PREVIO .....	5
2 CRECIMIENTO DE LAS SETAS .....	7
3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL.....	9
4 ANÁLISIS DEL PROGRAMA CONTROLADOR.....	17
5 DISEÑO DEL CUERPO .....	23
6 PRUEBAS CON EL PROTOTIPO.....	30
7 PROPUESTA FORMAL DE DISEÑO .....	38
8 CONCLUSIONES.....	45
9 BIBLIOGRAFÍA.....	46v

# 0.3 INTRODUCCIÓN

Título del Proyecto:

"Diseño y prototipado de un dispositivo controlador de las condiciones ambientales, de un espacio cerrado, para estimular el crecimiento de setas."

Objeto:

El proyecto consiste en mejorar el diseño de un armario de cultivo enfocado al crecimiento de hongos. En estos dispositivos el control de las condiciones ambientales como temperatura y humedad permitan el crecimiento de una especie vegetal o de hongos. No está previamente definido el entorno del producto, el usuario al que va dirigido ni la especie a cultivar en su interior.

La orientación hacia un armario de cultivo de hongos está justificada en la nueva tendencia del mercado hacia el consumo de productos autocultivados y los huertos urbanos. Los nuevos hábitos alimenticios están elevando el consumo de hongos, y el mercado ofrece un nicho en un producto de este tipo. Gracias a él, el usuario particular podrá cultivar distintas especies de hongos para su consumo propio, dando la libertad de experimentar con los ciclos de cultivo y especies.

Alcance:

En este proyecto se creará un prototipo de carácter funciona con el que se podrán realizar ensayos del funcionamiento de los distintos componentes. Estos ensayos permitirán definir

las características del producto final y encaminar el rediseño de este.

Antecedentes:

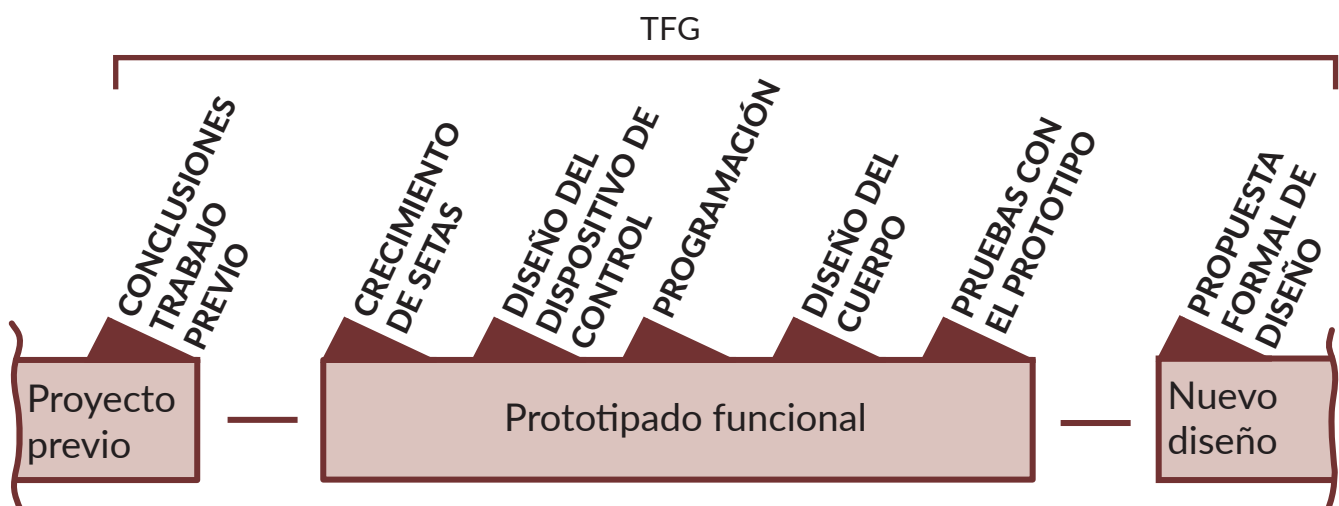
Este TFG parte de un proyecto realizado durante el 2º semestre del 2º año en el grado en ingeniería en diseño industrial y desarrollo de productos, en el contexto de un trabajo de módulo. El enunciado de este proyecto fue "Diseño de un dispositivo para regular las condiciones ambientales en un espacio cerrado".

El resultado del desarrollo del proyecto antecesor fue el diseño de un producto con gran capacidad para insertarse con éxito en el mercado. Aunque se barajaron diferentes alternativas, el diseño del armario Fungit podría plantear un alto beneficio para la empresa. Los principales problemas son técnicos como por ejemplo a la hora de obtener un buen rendimiento de un cultivo de hongos en relación con el coste del producto.

TFG:

A diferencia de la propuesta para el módulo, el prototipo no tendrá un cuerpo propio, sino que será adaptable a muchos espacios distintos. Pudiendo así colocarse en una caja de plástico, un armario, una nevera vieja o lugares parecidos que se adapten al cultivo de hongos.

El siguiente esquema resume lo realizado durante el proyecto:



# 1

# CONCLUSIONES TRABAJO PREVIO

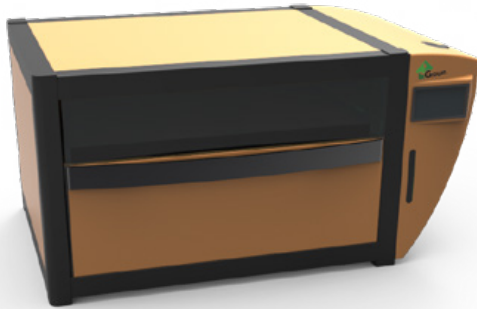
En este apartado se verán las principales conclusiones del proyecto que precede el TFG.

Para ello se ha estudiado el dossier y se ha observado el resultado del mismo, llegando a unas conclusiones para aplicar en este proyecto.

Para más información consultar el documento "Dossier Modulo Fungicultura" en el apartado 10.3 de los anexos.



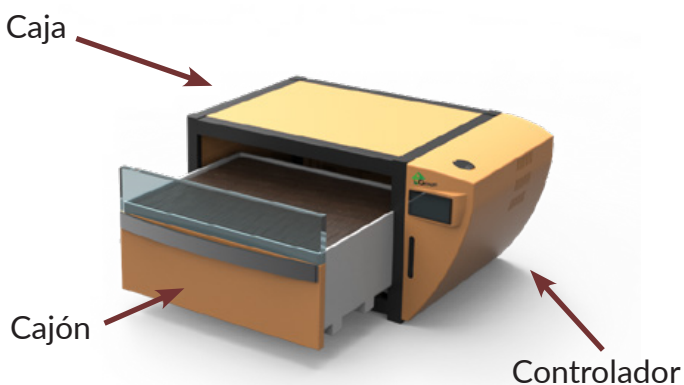
Este es el diseño planteado en el proyecto anterior:



*Fung it Grown*

Nombre comercial: Fung It Grown  
Potencia nominal: 360 W  
Tensión: 220-240 V  
Peso: 2 kg  
Dimensiones: 30 x 34 x 54 cm  
Volumen: 56 L  
Volumen caja de cultivo: 17 L

El Diseño es de carácter modular y se divide en tres partes: el controlador, el cajón y la caja.



*Componentes del producto*

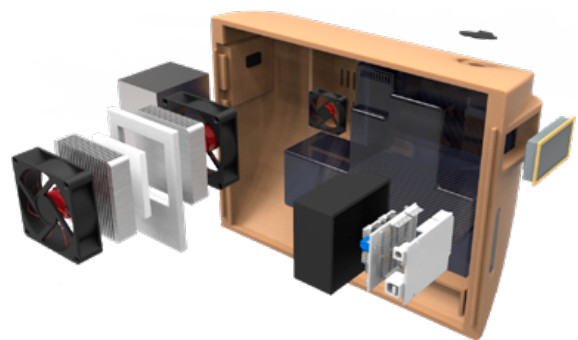
La caja es el volumen cuyas condiciones ambientales se controlan. Dentro de ella está el cajón, que es donde se coloca el sustrato donde se cultivan las setas.

Se pueden colocar hasta 4 cajones por cada controlador y dentro de cada caja habrá un cajón con sustrato. En este caso todos los micelios deben ser de una misma especie de seta ya que el control es igual para todos.



*Con varios módulos*

En el interior se controla la humedad y la temperatura para recrear las condiciones ambientales idóneas para el crecimiento de las setas.



*Componentes del controlador*

Los componentes tecnológicos esenciales del controlador eran una placa peltier para regular la temperatura, un vaporizador para el control de la humedad y una pantalla para el control. Se gestionaba con una placa Arduino.

## Conclusiones:

El resultado del proyecto ha sido muy satisfactorio, es un concepto novedoso e inexistente en el mercado.

Solo se ha planteado de manera teórica, no se sabe si el funcionamiento verdaderamente estimula el crecimiento de las setas en el formato diseñado.

Se planteó la posibilidad de tener un controlador independiente para poder colocarlo sobre cualquier volumen apto para cultivar hongos.

# 2

# CRECIMIENTO DE LAS SETAS

En este apartado se estudia las distintas fases del crecimiento de las setas, en nuestro caso enfocado a las setas de Ostra.

El proceso que se ha seguido se basa en la lectura del libro "*The basic guide to urban mushroom cultivation*" de John Leggette, que trata el cultivo de setas a pequeña escala. Esta información se han completado con búsqueda en otras fuentes como blogs de Internet y la experiencia propia. El resultado ha sido sintetizar el crecimiento de las setas de Ostra en fases.

Para más información consultar el documento "Estudio del crecimiento de las setas" en el apartado 10.1 de los anexos.





Para este apartado se ha realizado un estudio sobre el crecimiento de las setas de Ostra y el cultivo de hongos en el hogar. El estudio completo se puede ver como anexo en el apartado 7.2 "Crecimiento de las setas de Ostra".

## Bases del cultivo de setas

La micocultura, fungicultura o cultivo de hongos es una actividad dedicada a cultivar setas y otros hongos en un medio controlado, a diferencia de la recolección de hongos, para producir alimentos y otros productos relacionados. Cabe destacar que las setas son las especies de hongo comestibles.

Los hongos pueden confundirse con plantas, sin embargo no lo son, ya que no poseen clorofila y no realizan una fotosíntesis para sintetizar su alimento. La alimentación de los hongos se basa en la descomposición bioquímica de su entorno.

**El sustrato** es la fuente de energía de un hongo, es el material del que extrae los nutrientes necesarios para proliferar. A menudo se emplean harinas de distintos tipos, paja, posos de café, avena, trigo o combinaciones de los anteriores. Es importante adaptarlo a la especie a cultivar. Al sustrato germinado con esporas también se le llama pan de setas.

En lugar de con semillas los hongos se reproducen sexualmente durante el crecimiento bajo tierra y asexualmente a través de las esporas.

El **micelio** de un hongo se puede comparar a las raíces de una planta y es lo primero en crecer a través del sustrato, descomponiéndolo y extrayendo los nutrientes. El micelio desarrollado genera una masa densa atravesando todo el sustrato.

Finalizada la colonización el hongo comienza a salir a la superficie en las llamadas **floradas**, que va desde el nacimiento de los primordios hasta el desarrollo completo de la seta. Puede haber varias floradas de un mismo micelio.

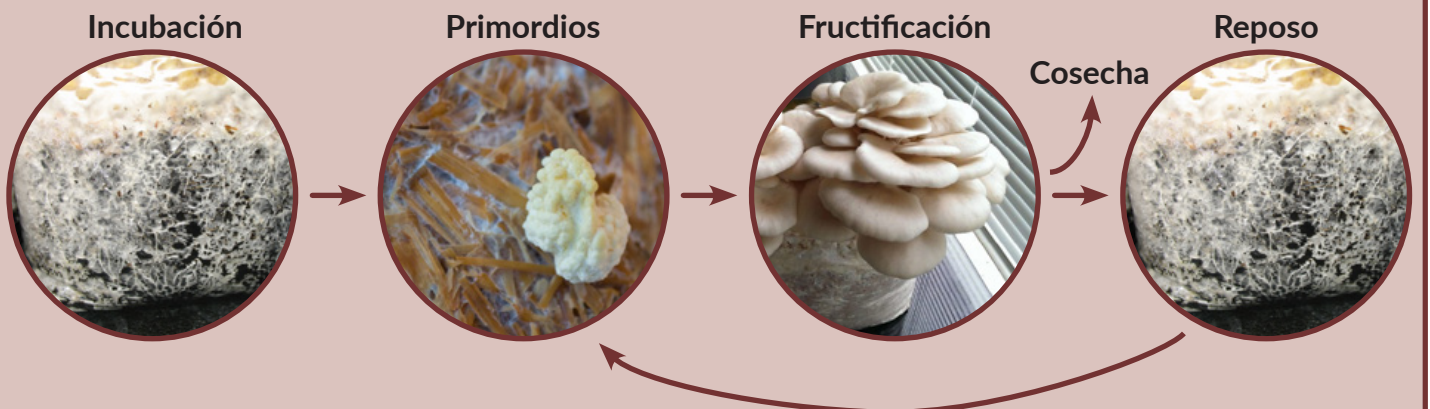
El ciclo de vida de un hongo se basa en la germinación de sustrato con las esporas, maduración del micelio, el brote de las floradas y el desprendimiento de las esporas.

Dependiendo de la especie las condiciones ambientales necesarias pueden variar. En general lo que se consigue con el control de las condiciones es simular el otoño, que es la época cuando más común par el crecimiento de setas.

En general los hongos necesitan humedades constantes y elevadas, una temperatura no muy elevada y poca luz.

## Conclusiones:

Podemos dividir un ciclo de crecimiento en 4 etapas en las que tenemos que controlar las condiciones ambientales



Las condiciones que tenemos que controlar son las siguientes:

- **Duración:** en días de cada etapa.
- **Temperatura:** Define el rango de temperatura en el que ha de estar.
- **Humedad:** Define el rango de humedad en el que ha de estar.
- **Luz:** Presencia o no de ciclos de luz.
- **Ventilación:** Intercambio de aire.



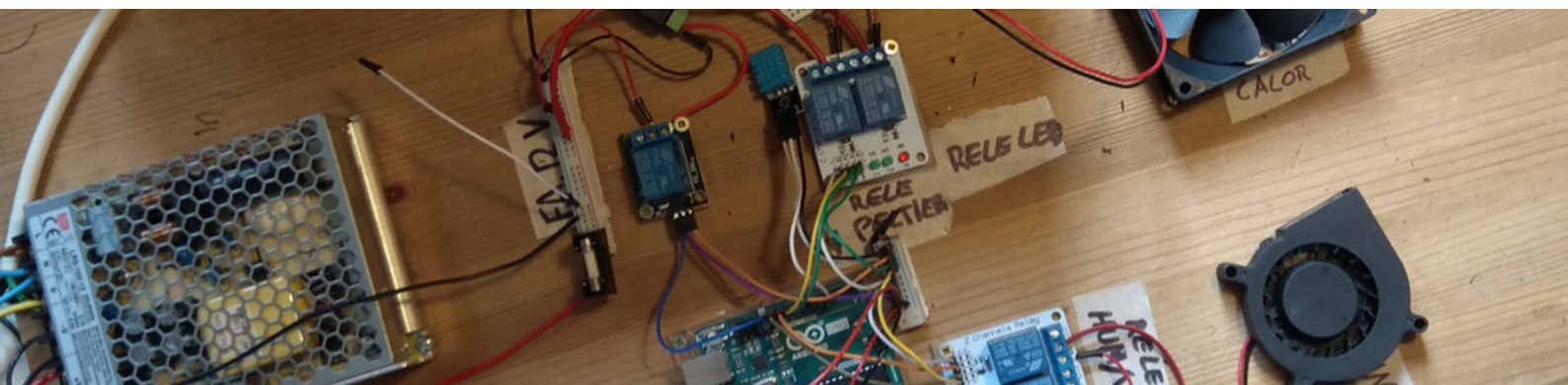
# 3

## DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CONTROL

En este apartado se trata la parte electrónica del prototipo.

A partir de las condiciones ambientales que se ha de controlar se ha realizado una búsqueda de los componentes que las pueden controlar.

El resultado es el circuito eléctrico empleado para el prototipo y un listado con los componentes y su coste aproximado.



A partir del estudio del crecimiento de las setas se conocen cuales son las condiciones ambientales que tenemos que regular. Se ha realizado una pequeña investigación para saber con que componentes se puede conseguir esta regulación.

## Duración

La duración de cada fase es medida en días. Como se consigue el control del paso del tiempo se especificará más adelante en el apartado de programación.

## Temperatura

Del estudio se sabe que en algunas fases es necesario calentar el interior del cultivador y en otras enfriarlo. Calentar un espacio es más sencillo que enfriarlo con componentes pequeños. Para aumentar la temperatura basta con una resistencia que funcione de calefactor irradiando calor. Para bajar la temperatura es necesario evacuar calor del interior.

Este es un concepto importante, nunca se "da frío", solo se da o se quita calor. Si se quiere evacuar el calor de una zona, se tiene que llevar a otra. Dar calor es más sencillo porque es un proceso que ocurre de manera más común. El rozamiento físico o la resistencia eléctrica son dos procesos que provocan pérdidas en forma de calor.

### Subir temperatura:

Para conseguir esto la manera más común es emplear calefactores radiantes en distintas formas.



Manta eléctrica

Calefactor

Cama caliente

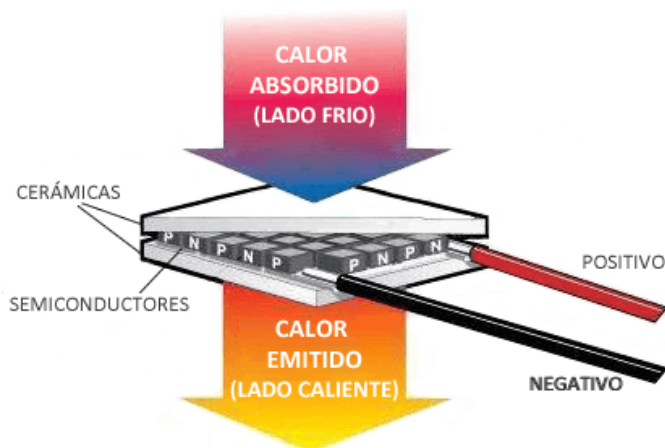
El principio de estos es el mismo, tienen una resistencia por la que pasa una corriente que hace que se caliente.

### Bajar temperatura:

Para reducir la temperatura en un espacio es necesario hacer un intercambio de calor. Esto ocurre en las neveras o aires acondicionados, en los que un líquido pasa por una zona donde absorbe calor y luego pasa por otra donde desprende este calor.

Existen maneras de hacer esto sin necesidad de electricidad como es el "efecto botijo", que se aprovecha de la pérdida de energía del agua al evaporarse a través de vasijas de barro.

Un componente electrónico que con un muy reducido tamaño resuelve este problema, es la placa de efecto **peltier**.



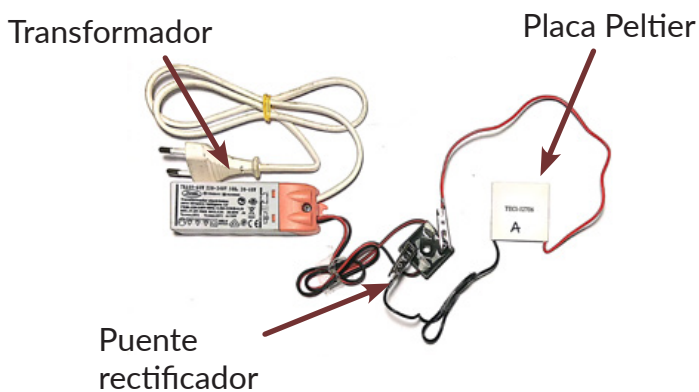
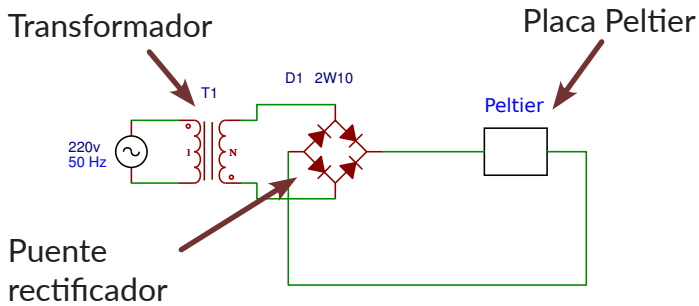
### Funcionamiento placa Peltier

Al aplicar corriente a los semiconductores que se encuentran entre las dos placas cerámicas se consigue que una de las caras se enfríe y la otra cara se caliente.

Una curiosidad de este componente es que es posible cambiar el sentido de funcionamiento de la placa para que se intercambien el lado caliente y el frío. Esto se consigue intercambiando los polos.

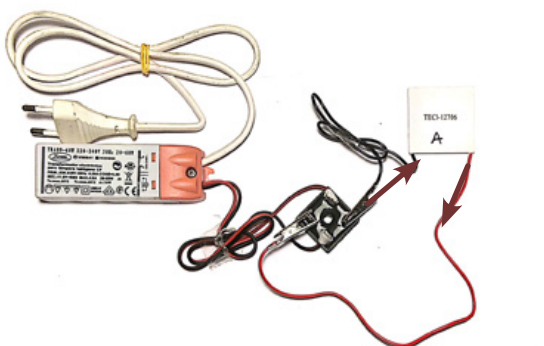
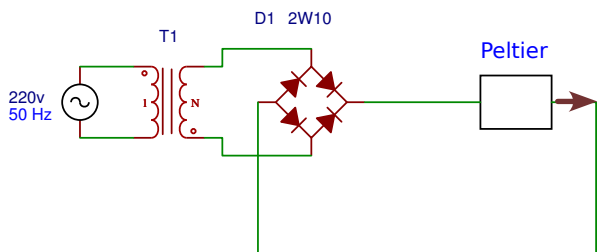
# Testado Peltier

Para comprobar que funciona la inversión de los polos en la placa peltier se ha preparado un circuito para ponerlo a prueba.

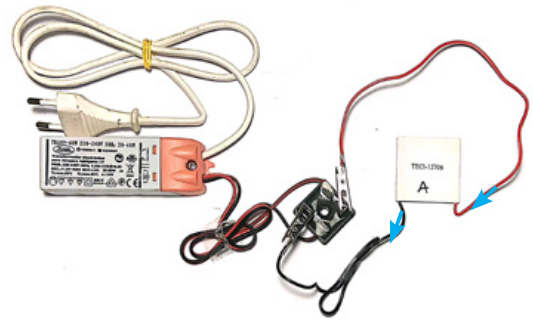
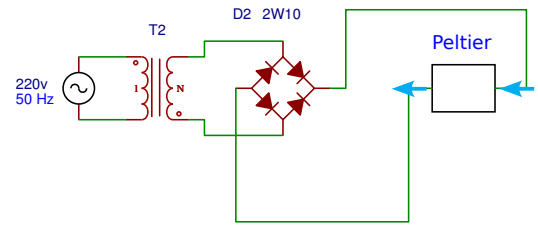


El montaje se compone de un transformador empleado para alimentar lámparas halógenas, un puente rectificador, que convierte la corriente alterna en continua, y la placa peltier.

Para la primera prueba se ha conectado de manera que coinciden los polos. Éste es el sentido normal de uso de la placa y vemos que se calienta la cara A de la placa y se enfría la B.



Para la segunda prueba se ha invertido el sentido de la corriente y el circuito es el siguiente:



Observamos que ahora se cambia de sentido el funcionamiento de la placa, y la cara A pasa a enfriarse y la cara B se calienta.

Queda así demostrado que **es posible intercambiar el sentido** en el que pasa la corriente por la placa Peltier y en consecuencia **calentar y enfriar** de manera alternada en cada cara.

# Humedad

Para aumentar la humedad en un espacio, basta con rociar el suelo con agua y dejar que esta se evapore. Esta es la manera en la que se controla la humedad en algunos cultivos de setas.

Para el producto es necesario un control mayor, por lo que necesito un componente electrónico que facilite esta tarea.



Los atomizadores ultrasónicos tienen una membrana piezoeléctrica que vibra a muy alta frecuencia, lo que hace que se rompa la tensión superficial del agua y se cree un vapor de agua.

## Luz

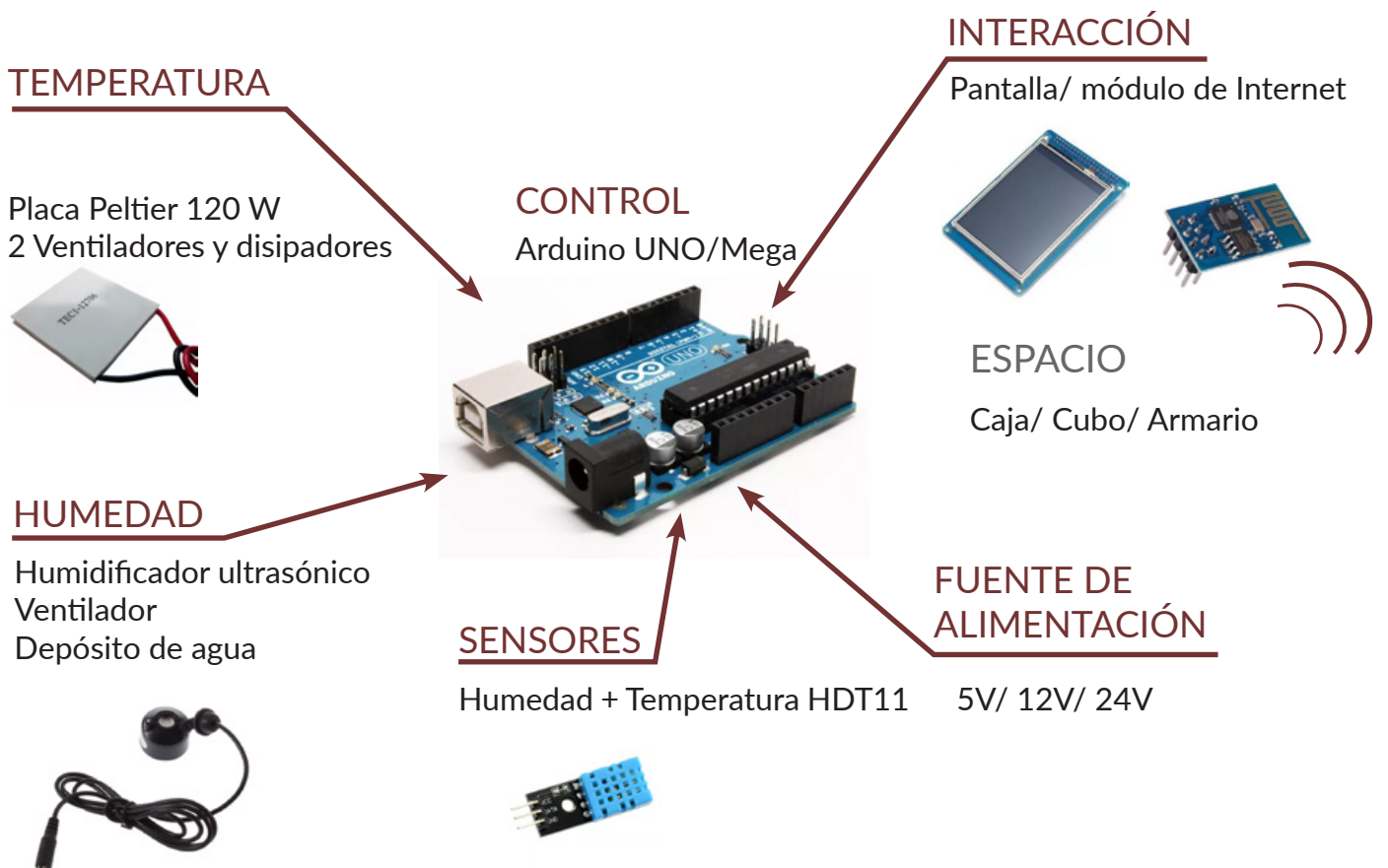
Los ciclos de luz son necesarios para recrear los días. En el cultivo de plantas en ocasiones es necesaria una luz de espectro completo, en el caso de las setas de ostra no es imprescindible. Se empleará una luz de tipo LED.

## Ventilación

El intercambio de aire es importante para el control del CO<sub>2</sub>. Para medir este gas es necesario un sensor de CO<sub>2</sub>. Estos sensores son muy caros, por lo que no se incluirá en el prototipo.

La ventilación se realizará con un ventilador que genera una leve circulación del aire.

Esta es la distribución inicial de los principales componentes que se incluirán en el prototipo. Se divide en la unidad de control, el control de temperatura, de humedad, los sensores, la alimentación y la interacción.



Esta distribución ha ido cambiando con el avance del proyecto.

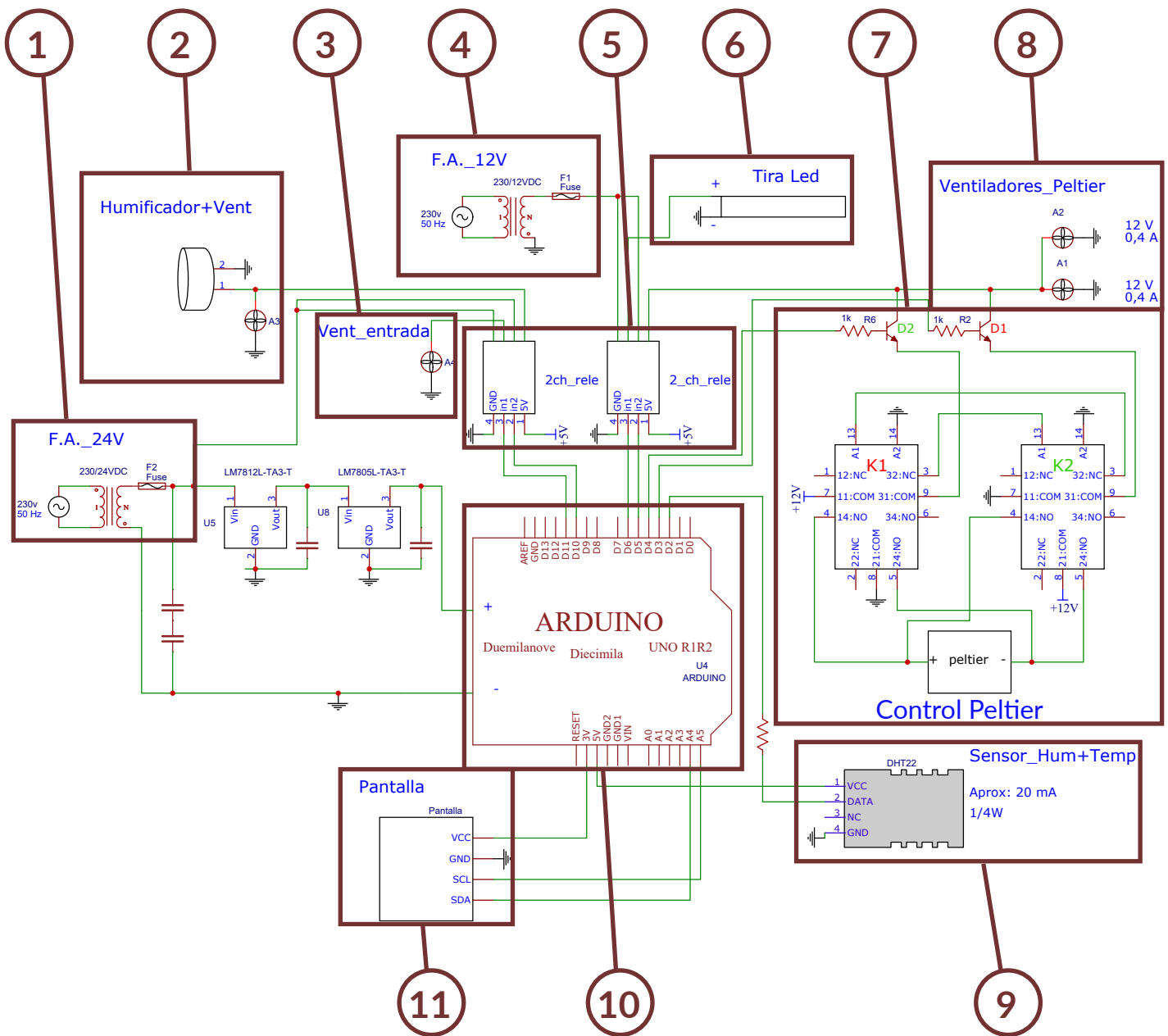
## Control

Para llevar el control de los diversos componentes se emplearán relés que se podrán conectar y desconectar con una placa Arduino de manera sencilla.

El primer problema de mayor complejidad que se plantea es la inversión de la corriente para que la placa peltier funcione en ambos sentidos.

El primer intento de afrontar esto ha sido mediante un sistema de dos relés de tres salidas.

Este es el planteamiento inicial del esquema eléctrico. En el se destacan los distintos componentes por bloques.



1. Fuente de alimentación de 24V.
2. Humidificador ultrasónico con ventilador
3. Ventilador de entrada
4. Fuente de alimentación de 12V
5. 2 x Modulo de relé doble
6. Tira LED
7. Control de la peltier
8. Ventiladores de la peltier
9. Sensor de temperatura y humedad
10. Placa Arduino
11. Pantalla OLED

Como se ve son necesarias dos fuentes de alimentación, una de 24V y otra de 12V ya que no fue posible encontrar una de 24V con suficientes amperios para soportar la placa peltier.

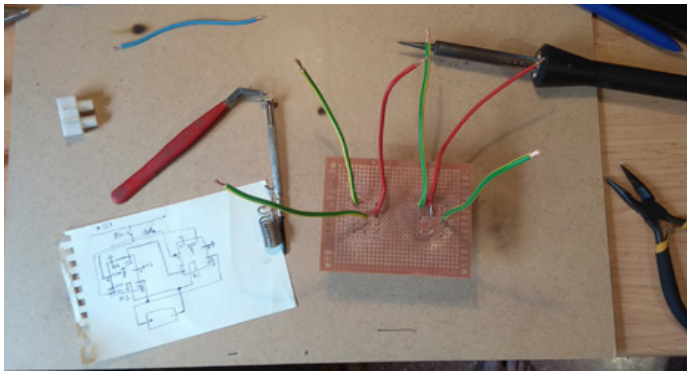
Así, La fuente de 12 V alimenta la peltier y la tira LED y todo lo demás está alimentado por la fuente de 24V.

Mas adelante se ha encontrado como alternativa unos vaporizadores que funcionan a 5V, lo que hubiese solucionado este problema, dejándonos unicamente con una fuente de alimentación. Esta solución no se ha podido implementar para este proyecto por falta de tiempo.



Se incluye una pantalla en la parte inferior y dos módulos de 2 relés para el control de los periféricos.

En la parte derecha del esquema se ve el montaje de los dos relés de tres fases que se ideó para la inversión de la corriente de la peltier.

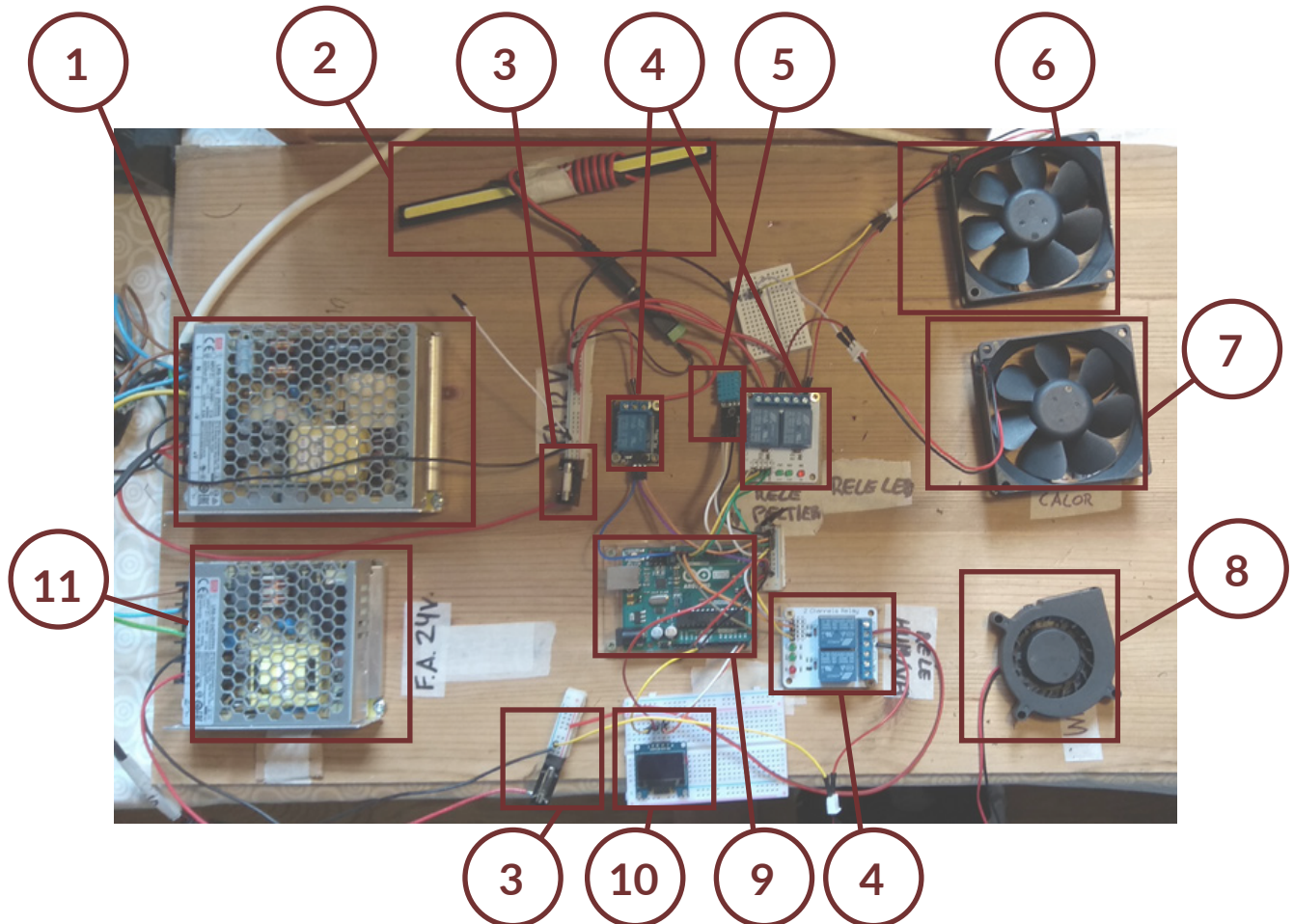


Montaje del control de la peltier

Tras varios intentos no ha resultado este método, quizás por error humano al soldar componentes o por que estuvieran defectuosos.

Para simplificar este problema se ha decidido emplear dos placas Peltier que unicamente funcionan en un sentido cada una. Esto supone que en vez de 2 ventiladores también son necesarios 4, dos para cada placa.

Para facilitar la tarea del armado de los componentes y la comprobación del funcionamiento se ha preparado una tabla de madera donde colocar los componentes y poder mantener una visión clara.

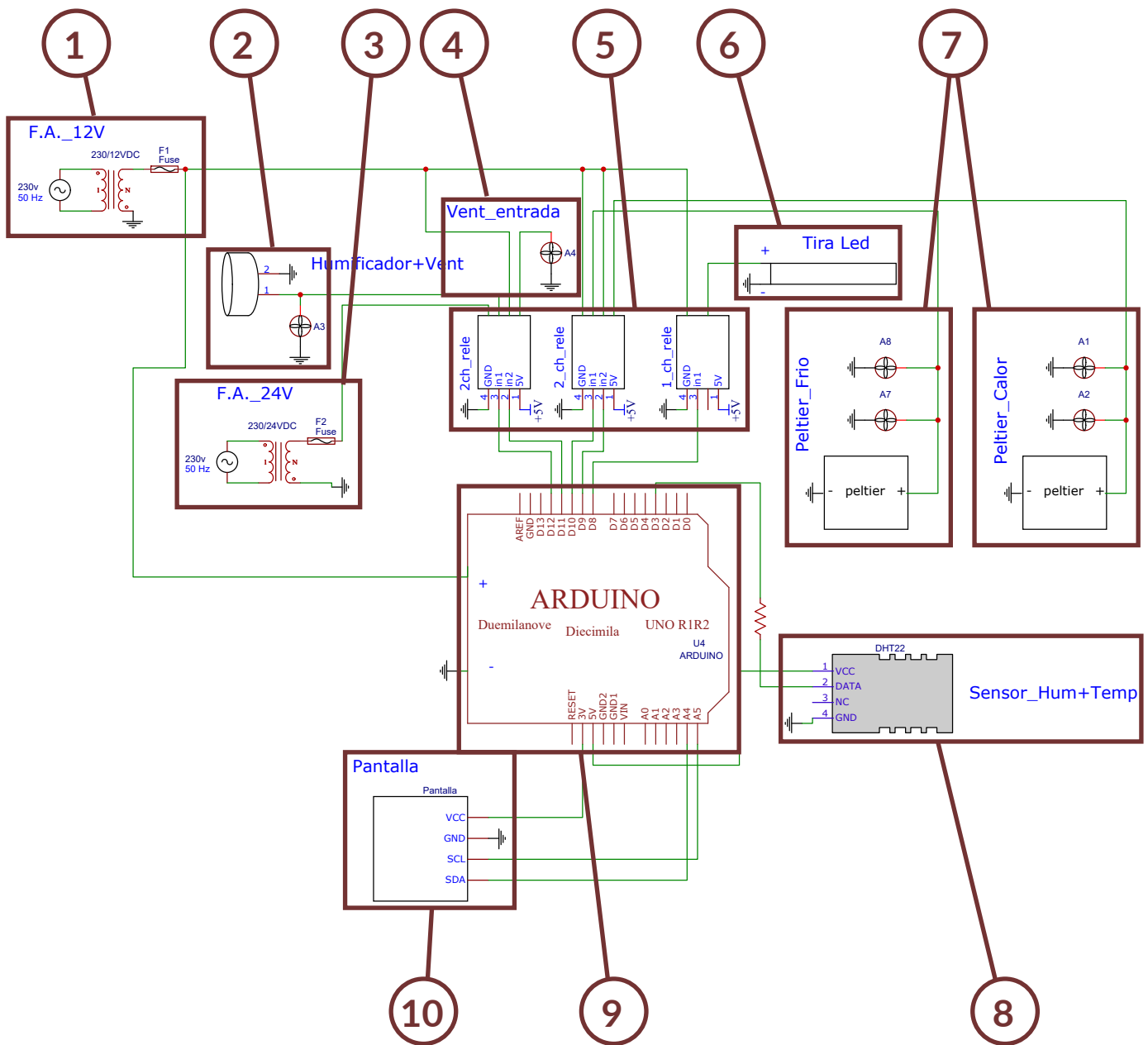


Distribución de los componentes

- |                 |                             |                   |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| 1. F.A. de 12V. | 5. Sensor DHT-11            | 9. Placa Arduino  |
| 2. Tira LED     | 6. Ventilador Peltier calor | 10. Pantalla OLED |
| 3. Fusible      | 7. Ventilador peltier frío  | 11. F.A. de 12V   |
| 4. Relé         | 8. Ventilador Humidificador |                   |



Tras depurar el circuito y probar diversas soluciones he llegado al siguiente esquema.



1. Fuente de alimentación de 12V.
2. Humidificador ultrasónico con ventilador
3. Fuente de alimentación de 24V
4. Ventilador de entrada
5. Módulos de relé doble
6. Tira LED
7. Placas peltier con ventiladores
8. Sensor de temperatura y humedad
9. Placa Arduino
10. Pantalla OLED

Se ha tenido que añadir un módulo de relé simple para controlar la tira LED. Las placas peltier ahora funcionan independientes.

Se ha cambiado la distribución de las fuentes de alimentación, y la de 24v se ocupa únicamente del humidificador y su ventilador. La placa Arduino ahora es alimentada por la fuente de 12 Voltios. Así la bajada de voltaje no es tan grande.

Para un diseño futuro se podría eliminar la fuente de 24 V, ya que existen componentes que funcionan a menos voltaje y pueden dar el mismo servicio.

# Listado de componentes y coste del circuito electrónico del control del prototipo

Este es un listado de los principales componentes empleados para el prototipo y una estimación de su costo.

Producto	Referencia	Cantidad	Precio/unidad	Precio	
Calefacción	Kit peltier con disipadores	2	19,9 €	39,8 €	
Alimentación	F.A. Peltier	LRS100/12	1	18,4 €	18,4 €
	F.A. hum+Arduino	LRS35/24	1	11,9 €	11,9 €
	Conector Hembra		1	2,3 €	2,3 €
	Cables varios		1	5,0 €	5,0 €
	Termo retráctil		1	3,0 €	3,0 €
	Interruptor		1	2,6 €	2,6 €
	Fusibles		2	1,3 €	2,5 €
	Portafusibles		1	0,8 €	0,8 €
Control	Relé doble	BK-RL2-01	2	8,4 €	16,7 €
	Relé simple		1	5,6 €	5,6 €
	Arduino	A000066	1	21,2 €	21,2 €
	Pantalla		1	10,6 €	10,6 €
	Placas de baquelita		1	1,8 €	1,8 €
Sensor	DHT22	1	2,6 €	2,6 €	
Humedad	Ventilador		3	2,7 €	8,1 €
	Ventilador		1	6,2 €	6,2 €
	Humidificador		1	13,8 €	13,8 €
Espacio	Caja	19497310	1	7,5 €	7,5 €
	Aislante	81909077	4	4,1 €	16,5 €
Tornillería	Tirafondos varios		1	2,5 €	2,5 €
	Arandelas		20	0,1 €	1,0 €
	Tuercas		20	0,1 €	2,0 €
	Varillas roscadas M6		3	0,6 €	1,8 €
Impresión	Pla	2	17,8 €	35,6 €	
Iluminación	Tira LED	1	2,3 €	2,3 €	
			Total:	241,8 €	

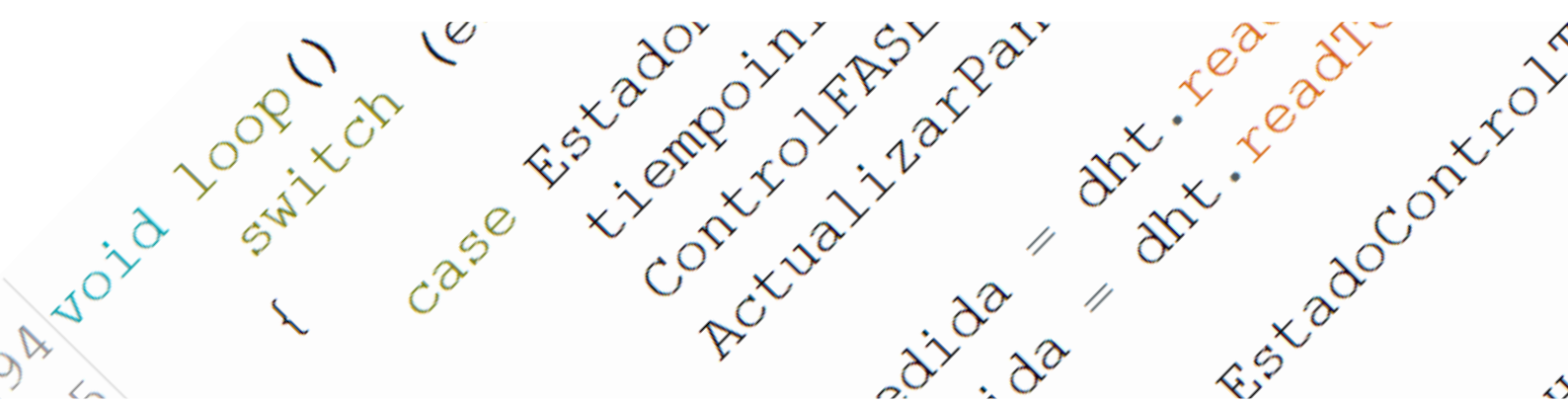
Hay algunos componentes como cables, partes de tornillería que son reciclados de otros electrodomésticos o similares. Hay elementos usados para la fabricación, pero que no están en el prototipo, como protoboards, cables, maquinaria necesaria y repuestos de las máquinas que también han sido necesarios.

# 4

# ANÁLISIS DEL PROGRAMA CONTROLADOR

En este apartado se trata la programación de los componentes electrónicos. Se ha desarrollado una máquina de estado de Moore, partiendo de un esquema básico que se ha depurado y complementando con todas las funciones necesarias.

El resultado es un programa escrito en C++ capaz de controlar los componentes electrónicos del prototipo, de manera autónoma, que recrean los ciclos de crecimiento necesarios para el cultivo de setas de Ostra. El código completo se encuentra en el documento "Código de la programación" apartado 10.2 de los anexos.



El programa está destinado a controlar los periféricos del prototipo de Controlador de Condiciones Ambientales para Fungicultura.

## Fases de cultivo de setas de ostra

Para probar el funcionamiento del controlador, se recreará las condiciones óptimas para el crecimiento de setas de ostra. Como hemos visto en el apartado del crecimiento de las setas, su crecimiento se puede dividir en cinco fases.

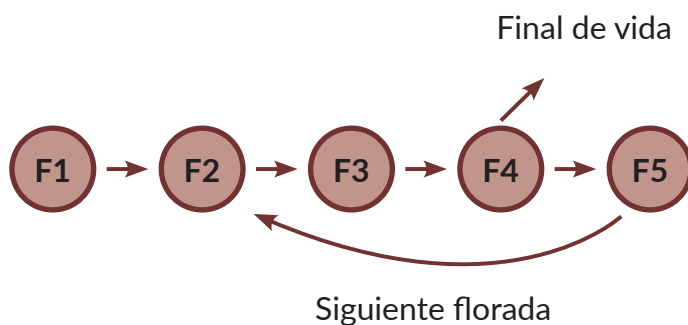
En estas fases podemos variar las siguientes condiciones:

- **Duración:** Días que lleva cada fase.
- **Temperatura**
- **Humedad**
- **Luz**
- **Ventilación:** Circulación del aire en el interior.

## Ciclo de crecimiento

El ciclo completo de crecimiento de las setas es iterativo en cierta medida, ya que podemos tener varias floradas con un mismo pan de setas.

Para las setas de ostra podemos definir el siguiente comportamiento, pasando por las fases.



Puede haber varias floradas, pero las condiciones en estas se mantienen iguales. Por eso podemos definir un comportamiento iterativo entre la fase 5 y la 2.

Para finalizar un cultivo se debe interrumpir el crecimiento en la fase 4. Esto se hará desconectando el controlador.

### Incubación (F1):

Duración: 20 días  
Temperatura: 21-17°C  
Humedad: 60-70%  
Luz: no  
Ventilación: leve

### Primordios (F2):

Duración: 5 días  
Temperatura: 11-14°C  
Humedad: 95-100%  
Luz: 8h encendido, 16 apagado  
Ventilación: Alta

### Fructificación (F3):

Duración: 5 días  
Temperatura: 21-27°C  
Humedad: 60-70%  
Luz: 8h encendido, 16 apagado  
Ventilación: leve

### Cosecha (F4)\*:

Duración: no  
Temperatura: no  
Humedad: no  
Luz: no  
Ventilación: no

### Reposo (F5):

Duración: 10 días  
Temperatura: 21-27°C  
Humedad: 60-70%  
Luz: no  
Ventilación: no

\*Durante esta fase se desactiva el control de condiciones.

# Periféricos

## Periféricos de entrada:

- Sensor DHT 11: Mide la temperatura y humedad en el interior.

## Periféricos de salida:

- LED: La tira LED permite recrear los ciclos de luz
- Humidificador: Permiten elevar la humedad en el interior.
- Ventilador: Introduce aire en el interior de la caja.
- Peltier calor: Es la unidad encargada de elevar la temperatura en el interior.
- Peltier frío: Es la unidad encargada de reducir la temperatura en el interior.
- Pantalla Oled: Muestra la fase y el día en el que nos encontramos

- Relés: son los encargados de activar y desactivar los distintos periféricos de salida, excepto la pantalla. Hay cinco relés.

## Ordenador de control:

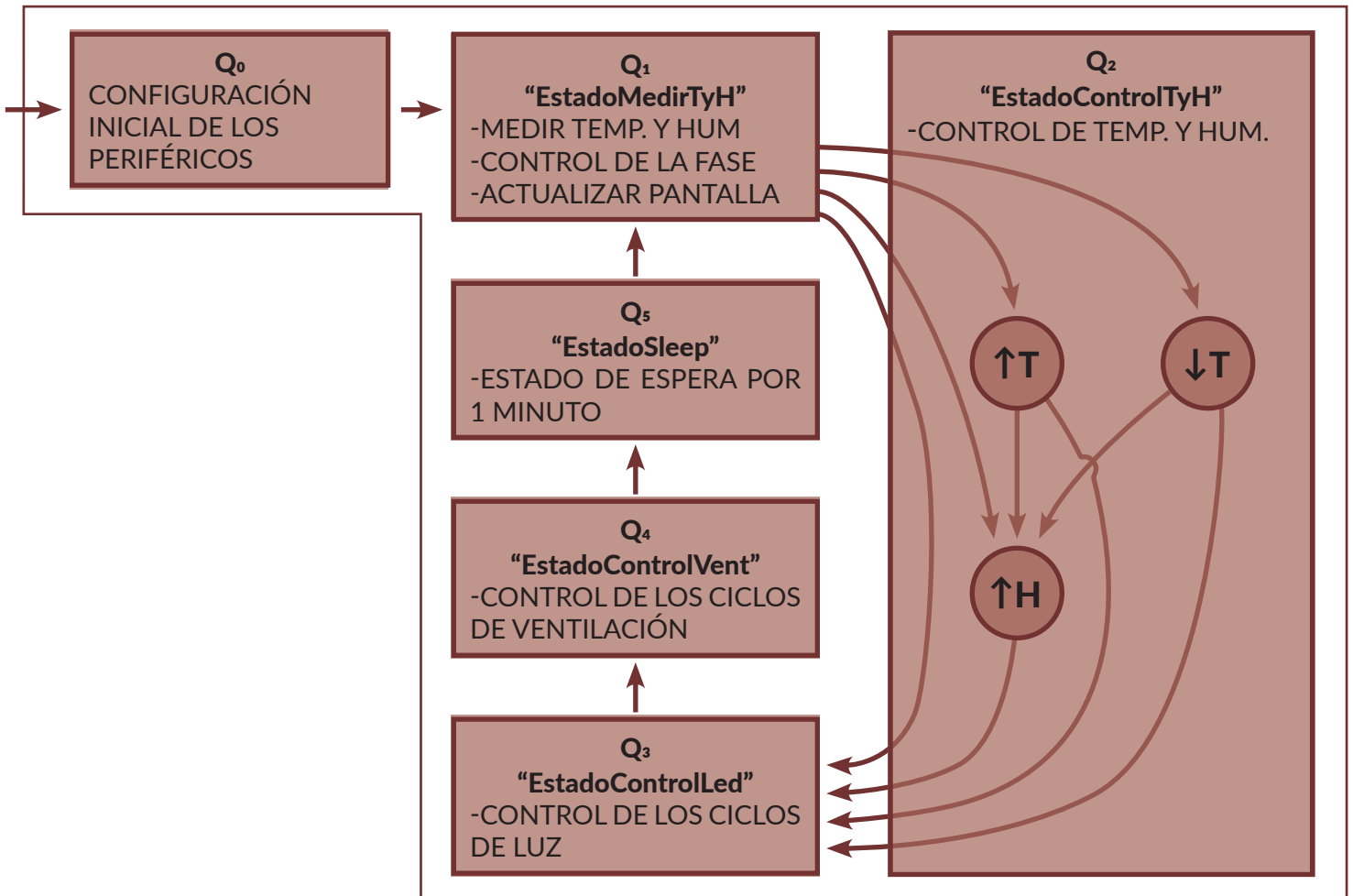
- Arduino UNO: Es el controlador de todos los periféricos.

## Estructura del programa

El programa sigue la estructura de un **autómata de Moore** o maquina de estados de Moore. Para este tipo de máquinas se define un número finito de estados posibles (Q) y las condiciones para que el programa recorra los distintos estados.

Se tiene un estado de inicio ( $Q_0$ ) en el que se realizan las configuraciones iniciales de los periféricos y los estados posteriores ( $Q_1, Q_2...$ ) en los que se ejecutan las ordenes.

## Máquina de estados de Moore



# Programación

El programa está escrito en C++ y fue redactado en el editor propio de Arduino. En este apartado se va a comentar los detalles más interesantes de su estructura.

Después de incluir las librerías necesarias y definir lo necesario para el control de la pantalla, se llega a la definición de las fases.

```
34 #define numFases 5
35 enum STATE { EstadoMedirTyH, EstadoControlTyH,
36 EstadoControlLed, EstadoControlVent, EstadoSleep};
37 #define EstadoMedirTyH 0
38 #define EstadoControlTyH 1
39 #define EstadoControlLed 2
40 #define EstadoControlVent 3
41 #define EstadoSleep 4
```

En la línea 34 se define el número de fases que tiene nuestro ciclo de crecimiento, como se vio en un apartado anterior es 5.

A continuación en las líneas 35 y 36 se crea una lista de elementos con los 5 estados del autómata. Hay que tener en cuenta que el estado **Q<sub>0</sub>** no está incluido en esta lista, ya que se realiza previo al **switch case**, que se detallará más adelante, con el que se realiza el avance de estados.

```
45 const unsigned long ciclo = 60000;
46
47 //CONTROL DE FASE
48 const int Hora = 60;
49 const int Dia = 24;
50 const int DuracionFase[numFases] = {20, 5, 5, 3, 10};
51 const int TempMaxFase[numFases] = {27, 14, 27, 100, 27};
52 const int TempMinFase[numFases] = {21, 11, 21, 0, 21};
53 const int HumMaxFase[numFases] = {70, 100, 70, 100, 70};
54 const int HumMinFase[numFases] = {60, 95, 60, 0, 60};
55 const int LedEnceFase[numFases] = {0, 8, 8, -1, 0};
56 const int LedApaFase[numFases] = {0, 16, 16, -1, 0};
57 const int VentFase[numFases] = {0, 1, 1, -1, 1};
```

La constante “**ciclo**” es quien dicta cuanto dura una vuelta completa a la máquina de estados. En este caso es de 60000 ms, lo que es igual a 1 minuto.

En las líneas 50-57 se definen en forma de arrays (listas) las condiciones que caracterizan el ciclo de crecimiento. En este caso se tiene 5 fases, por lo que las listas tienen 5 elementos, uno para cada fase.

Cada uno de los elementos de la lista representa el valor que toma esa constante en cada fase.

Ejemplo:

```
DuracionFase[numFases] = {20,5,5,3,10};
      /      /      /      /      /
      F0 F1 F2 F3 F4
```

Si se quiere cambiar la duración de la F2, se tiene que modificar el valor del tercer número de la lista.

Las constantes que se pueden modificar son:

- **DuracionFase[numFases]:** Duración de cada fase en días. Cuando pasan esos días se avanza de fase.
  - **TempMaxFase[numFases]:** Temperatura máxima en la fase. Si se supera la temperatura máxima se conecta la peltier que enfría.
  - **TempMinFase[numFases]:** Temperatura mínima en la fase. Si la temperatura baja por debajo de este valor se enciende la peltier de calor.
  - **HumMaxFase[numFases]:** Humedad máxima en la fase. Si se alcanza este valor se desconecta el humidificador.
  - **HumMinFase[numFases]:** Humedad mínima en la fase. Si la humedad es menor, se conecta el humidificador.
  - **LedEnceFase[numFases]:** Tiempo que está encendido el LED durante la fase.
  - **LedApaFase[numFases]:** Tiempo que está apagado el LED en la fase.
- La suma del tiempo encendido y el tiempo apagado tiene que ser igual a 24h.
- **VentFase[numFases]:** estado del ventilador en la fase. 1=encendido y 0=apagado.

A continuación, líneas 60-151, se definen todas las variables necesarias y se realiza las configuraciones necesarias.

En la línea 151 comienza la función **ControlFASE()** esta es la encargada de controlar en que ciclo, día y fase nos encontramos. Es un contador de iteraciones.



Entre las líneas 206-293 se encuentran las distintas funciones que se emplean para controlar los periféricos de salida, a partir de los datos de las listas de condiciones y los datos tomados del sensor.

Un ejemplo:

```

206 void SubirTemp()
207 {
208   digitalWrite(relePfrio, LOW);
209   digitalWrite(relePcalor, HIGH);
210   EstadorelePfrio =0;
211   EstadorelePcalor =1;
212 }

```

La función **SubirTemp()** desactiva la peltier de frío y activa la peltier de calor. Además almacena el estado de ambas en las variables correspondientes.

Este almacenamiento nos sirve para hacer un seguimiento durante el funcionamiento del programa y poder representar los datos en una hoja de cálculo.

```

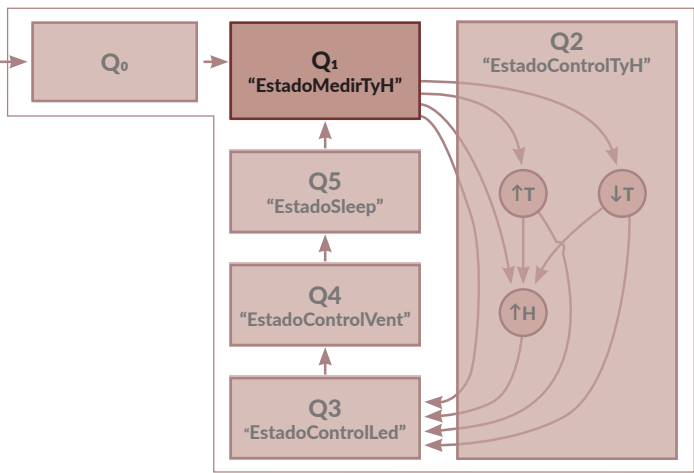
294 void loop() {
295   switch (estado)

```

En la línea 294 comienza el bucle iterativo del switch de estados.

### Q1, “EstadoMedriTyH”:

En este estado se realiza el control de la fase, se almacenan los datos de la temperatura y humedad registrados por el sensor DHT11 y se actualiza la pantalla.



```

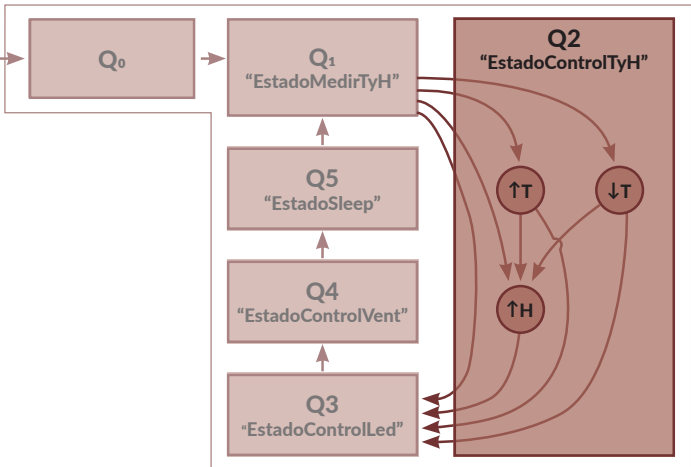
297   case EstadoMedriTyH:
298     tiempoInicial = millis();
299     ControlFASE();
300     ActualizarPantalla();
301
302     hmedida = dht.readHumidity();
303     tmedida = dht.readTemperature();

```

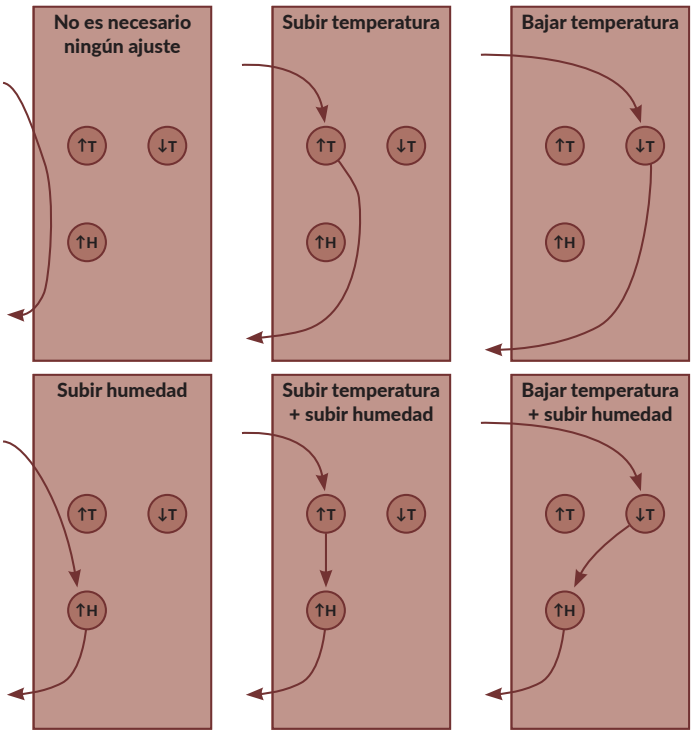
La variable “tiempoinicial” se iguala al reloj interno de Arduino para saber el instante en el que comienza el bucle.

### Q2, “EstadoControlTyH”:

En este estado se realiza el control de la temperatura y humedad si es necesario. Hay 6 posibles casos que pueden ocurrir.

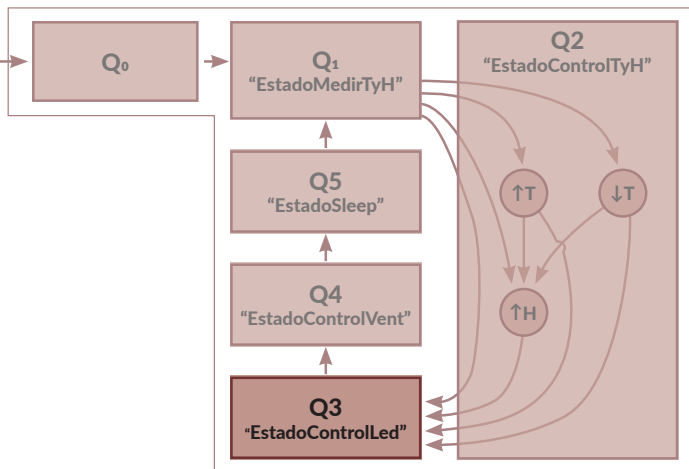


Posibles casos:



### Q3, “EstadoControlLED”:

En este estado se controlan los ciclos de iluminación.



La función para este control es controlLED(). Lo que realiza es leer el numero de horas que debe estar encendido el LED y el número de horas que debe estar apagado.

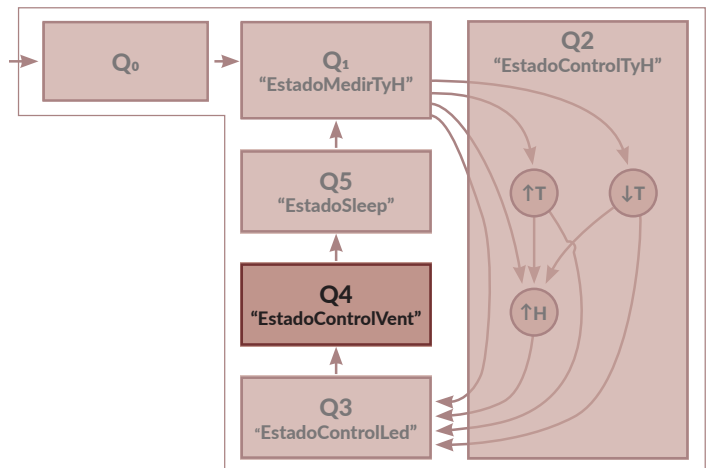
```
336     case EstadoControlLed:
337         if (LedEnceFase[estadoFase]>0)
338         {
339             ControlLED();
340         }
```

Para que el LED se encienda, el número de horas que está encendido del LED ha de ser superior a 0. Si este es el caso, se ejerce el control del LED. Este control se realiza con un contador propio de ciclos que permite contar las horas de encendido y las de apagado.

### Q4, “EstadoControlVent”:

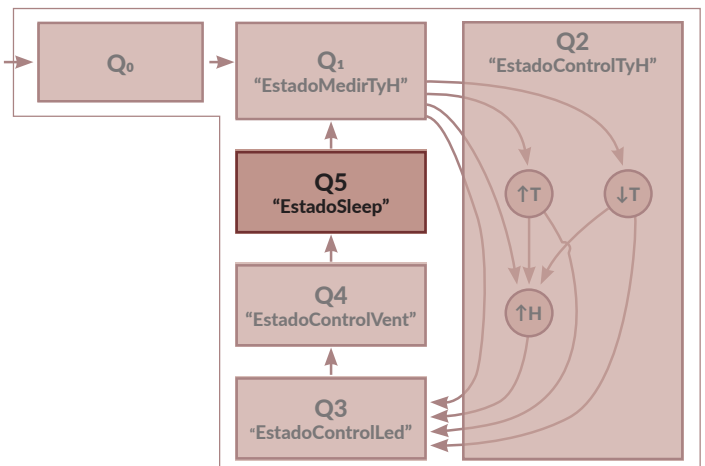
En este estado se controla la ventilación. En este caso, como el ventilador es débil, las opciones que tenemos es que el ventilador esté encendido o apagado. No hay necesidad de realizar ciclos de duración en horas como en el control del LED.

Si en la lista de “VentFase” hay un valor superior a 0, el ventilador se encenderá, por lo contrario se mantendrá desconectado.



### Q5, “EstadoSleep”:

Este es el estado en el que el procesador espera a que haya pasado un minuto desde el comienzo del anterior iteración, antes de comenzar una nueva.



```
358     case EstadoSleep:
359         tiempoafinal = millis();
360         //Estos datos nos permiten conocer lo que tarda e
361         Serial.println(String(tiempoinicial));
362         Serial.println(String(tiempoafinal));
363         Serial.println(String(tiempoafinal-tiempoinicial)
364         //Mostramos datos en el puerto serial para poder
365         Serial.println( (String) "DATA,"+cuentaliter+","c
366
367         if ((tiempoafinal - tiempoinicial) > ciclo){
368             Serial.print("el ciclo es mas largo de lo esperado");
369         } else {
370             delay(ciclo - (tiempoafinal - tiempoinicial));
```

La variable “tiempoafinal” nos permite calcular cuanto ha durado el programa en depurarse. El tiempo que el programa se detiene será la resta del tiempo del ciclo menos esta duración.

Una vez pasa este tiempo se vuela a comenzar una nueva iteración pasando al primer estado.

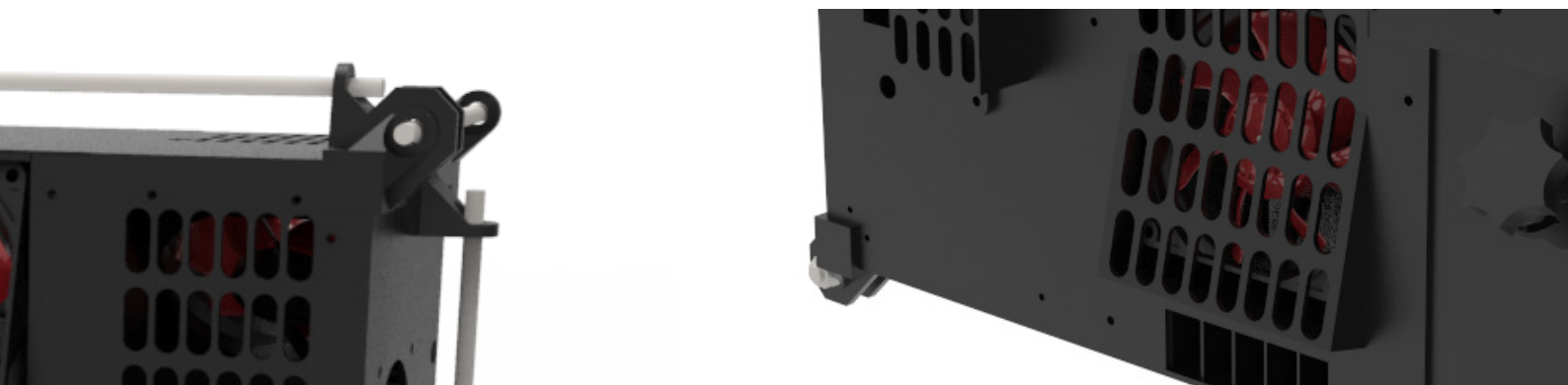
# 5

# DISEÑO DEL CUERPO

En este apartado se explica el diseño del prototipo.

El proceso que se ha seguido es de prototipado rápido, creando formas lo mas sencillas de producir en una impresora 3D posibles.

El resultado es el cuerpo que alberga todos los componentes del prototipo pudiendo así realizar pruebas sobre diversos aspectos del funcionamiento.



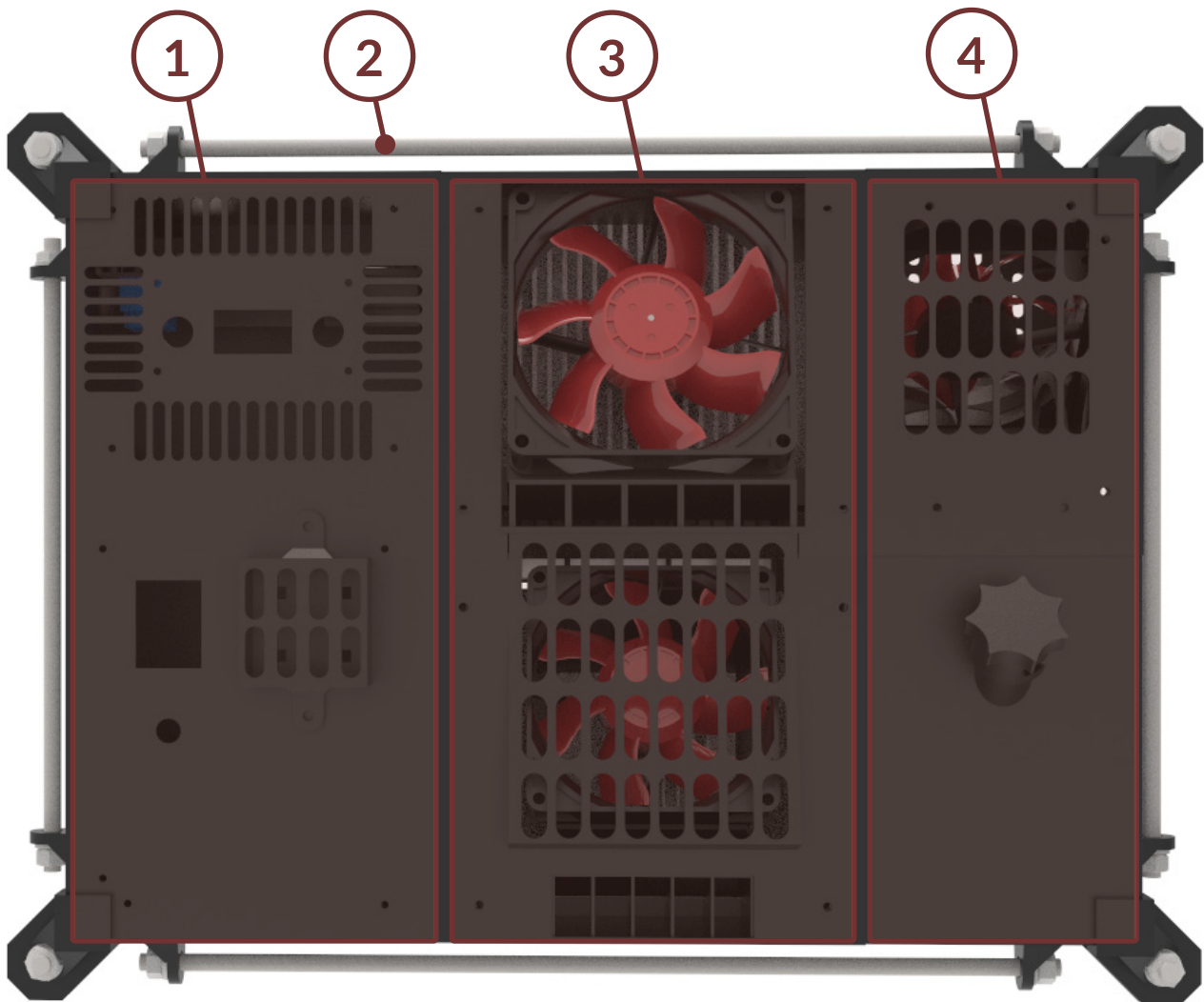
## Construcción del prototipo

La mayor parte de la construcción del prototipo se llevó a cabo mediante impresión 3D. En total, entre pruebas fallidas, pequeños prototipos funcionales y el producto final se han impreso alrededor de 120 horas, consumiendo cerca de 2kg de material. La impresora empleada ha sido una Anet A8 propia.

Para simplificar el montaje y la impresión de las piezas, se ha diseñado el prototipo con una forma rectangular y dividida en tres bloques.

Los bloques se unen entre si con tornillos autorroscantes. Este método no ha resultado el mejor en todos los componentes, ya que en ocasiones los tornillos son de difícil acceso una vez que se incorporan todos los componentes.

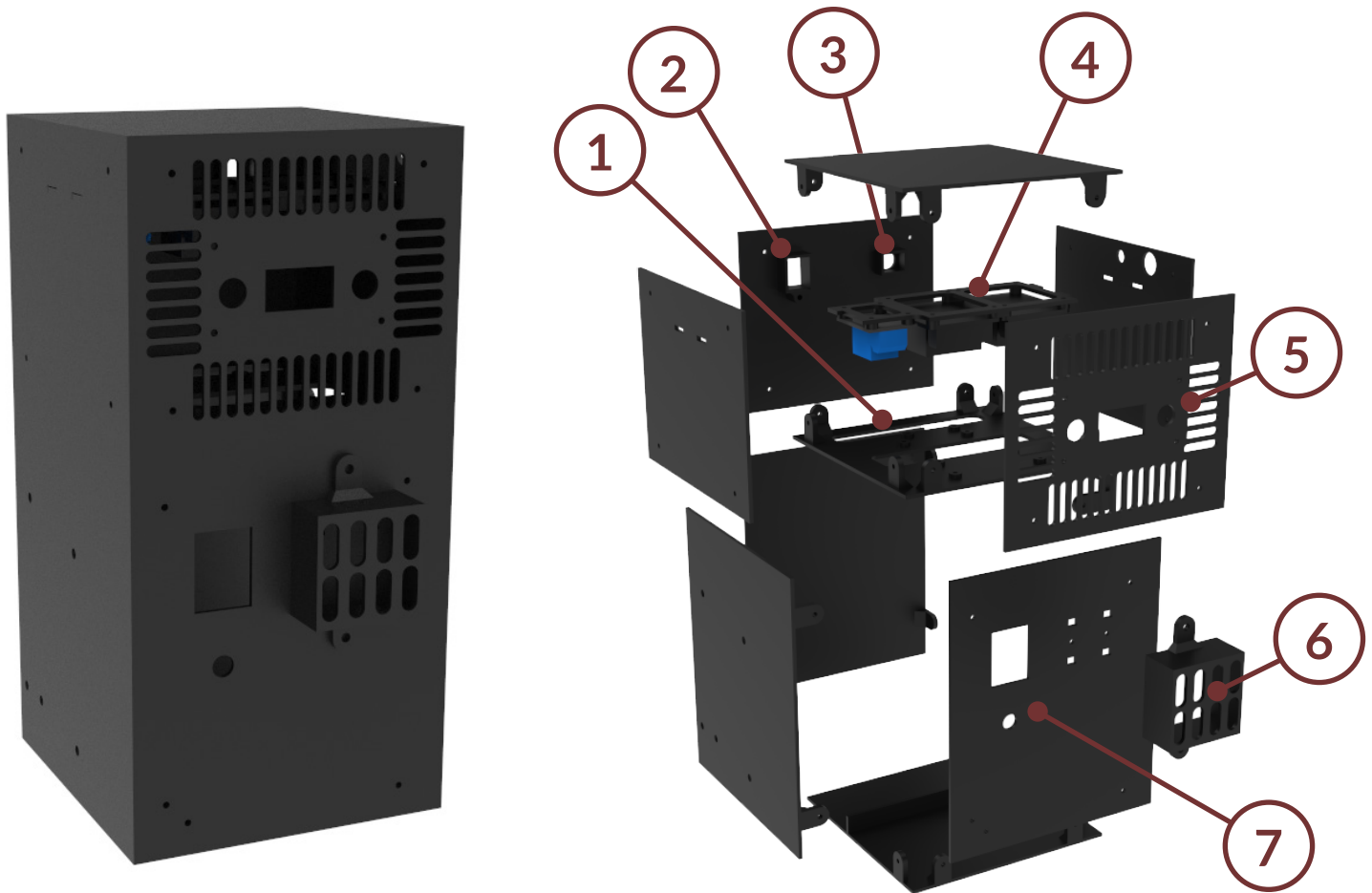
Por esta razón, y para poder fijar el controlador a la caja se ha construido un esqueleto de varillas roscadas que se unen mediante unas esquineras. Esto le da mayor resistencia.



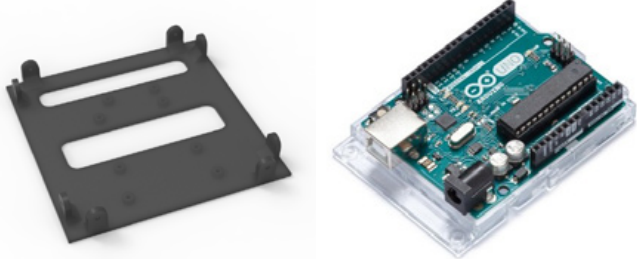
1. Unidad de Control.
2. Esqueleto.
3. Control temperatura.
4. Control humedad y ventilación.

# Unidad de control

En esta parte se albergan las dos fuentes de alimentación y la placa de Arduino con los relés que controlan el resto de los componentes. Se pueden destacar los siguientes:



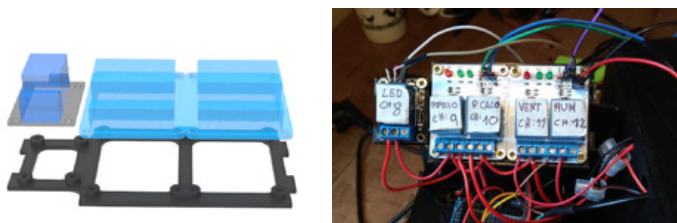
1. Soporte Arduino: Esta pieza tiene los agujeros para atornillar el Arduino con una base.



Pieza de soporte

Arduino con base

- 2. Alojamiento del sensor de Temperatura.
- 3. Alojamiento del conector para el LED.
- 4. Soporte relés.



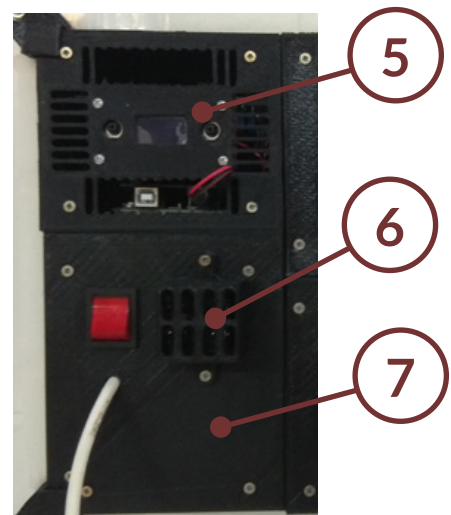
Soporte relés

Relés montados

5. Rejilla Frontal: Esta tiene el hueco para la pantalla y los dos posibles botones.

6. Protector Fusibles: Es una jaula que evita que se puedan tocar los fusibles.

7. Tapa frontal fuentes de alimentación: Esta tapa tiene los huecos para el cable de alimentación, colocar los fusibles y el interruptor de encendido



## Esqueleto

El esqueleto está formado por varillas roscadas y piezas que sirven de esquineras. Da rigidez al cuerpo y permite la conexión con la caja.



1. Esquineras: Estas piezas sirven para sujetar las cuatro esquinas del controlador y unir entre sí las distintas varillas roscadas.
2. Varillas roscadas: Varillas de  $\varnothing 6\text{mm}$ . 4 forman el marco rectangular y otras 4 permiten la unión con la caja.
3. Las piezas 3 y 5 van una a cada lado de la pared de la caja. Mediante las tuercas y arandelas se aprieta una de cada lado.
4. Tuercas y arandelas de M6.

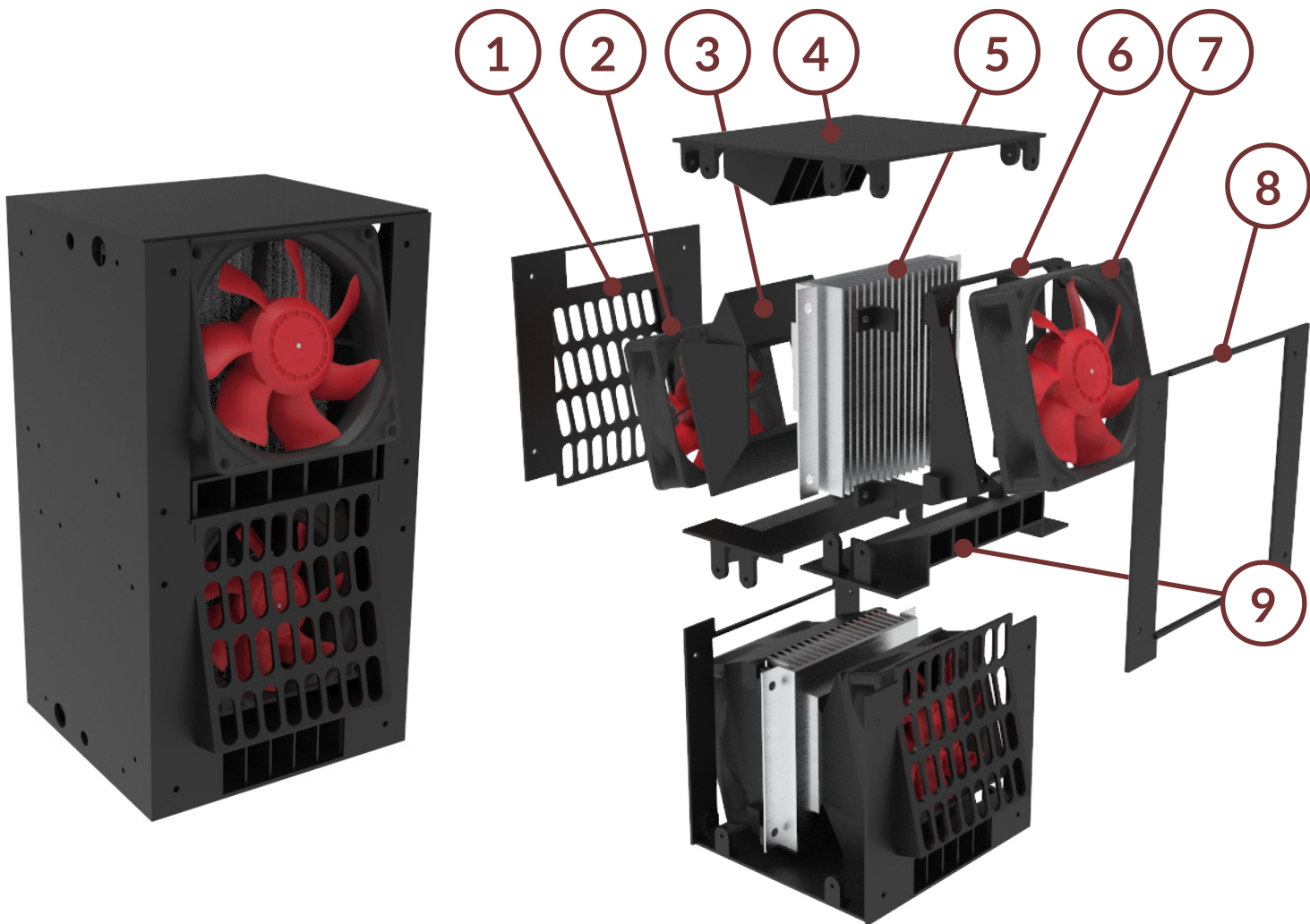


Visión trasera del controlador con el esqueleto



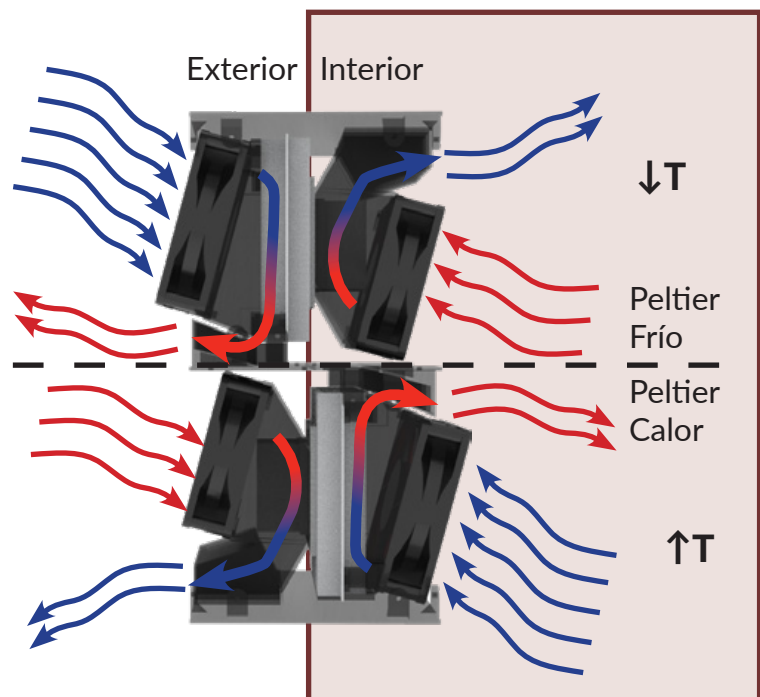
# Control de temperatura

Este es el bloque en el que se albergan las dos placas peltier, que consiguen regular la temperatura. Cabe destacar que la parte superior e inferior son iguales y encajan simétricamente.



1. Rejilla frío
2. Ventilador frío.
3. Embudo frío.
4. Tapa superior.
5. Disipadores: La placa peltier está colocada entre los dos disipadores.
6. Embudo calor.
7. Ventilador calor.
8. Tapa calor
9. Tapa inferior.

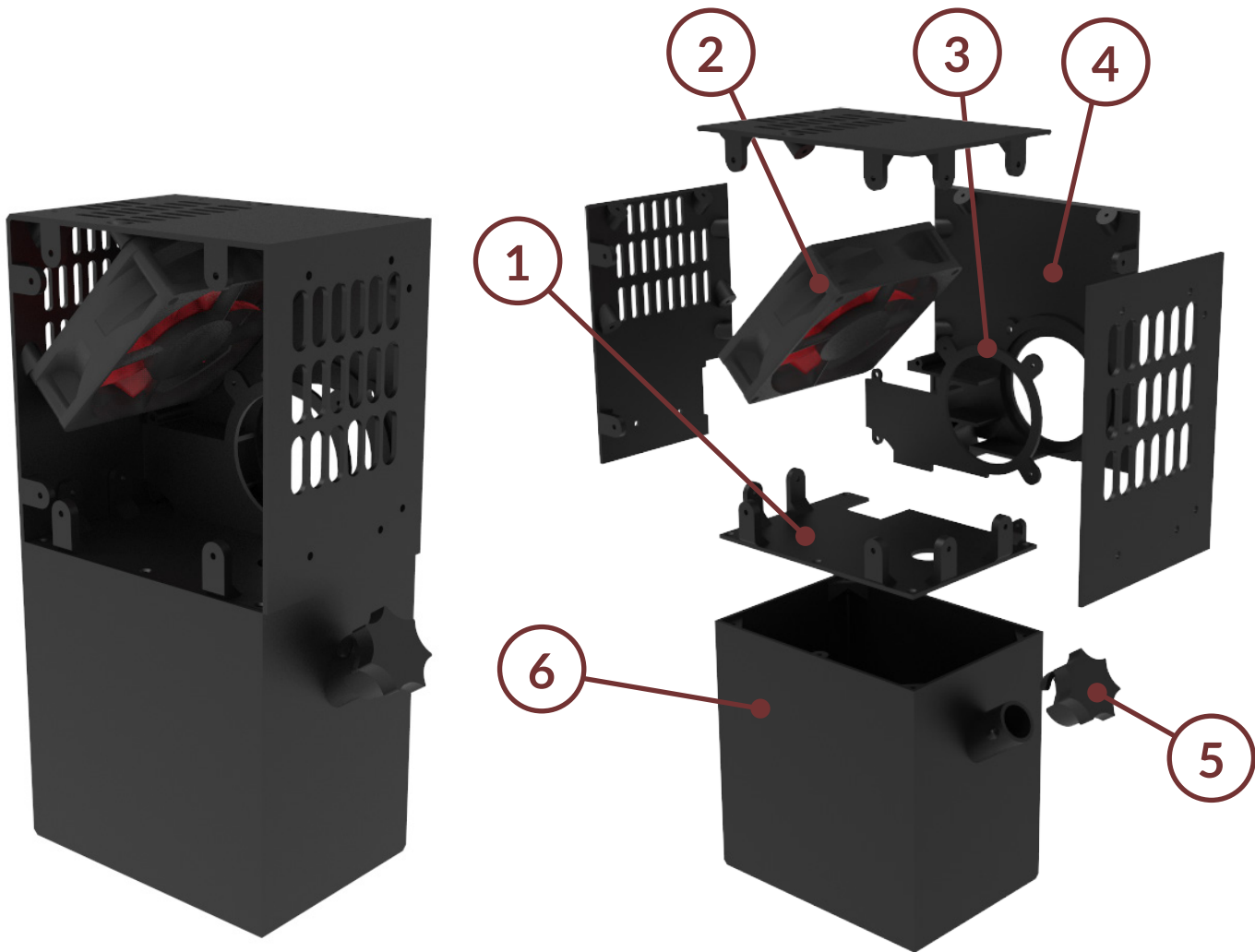
Como se ve en el esquema del intercambio de calor, el aire en el interior pasa por los disipadores y vuelve a entrar en la caja. En el caso de la peltier de frío la temperatura del aire baja, y en el caso de la peltier de calor la temperatura sube.



Funcionamiento del intercambio de calor

# Control humedad y ventilación

En este bloque se regula la humedad en el interior y se controla la ventilación.

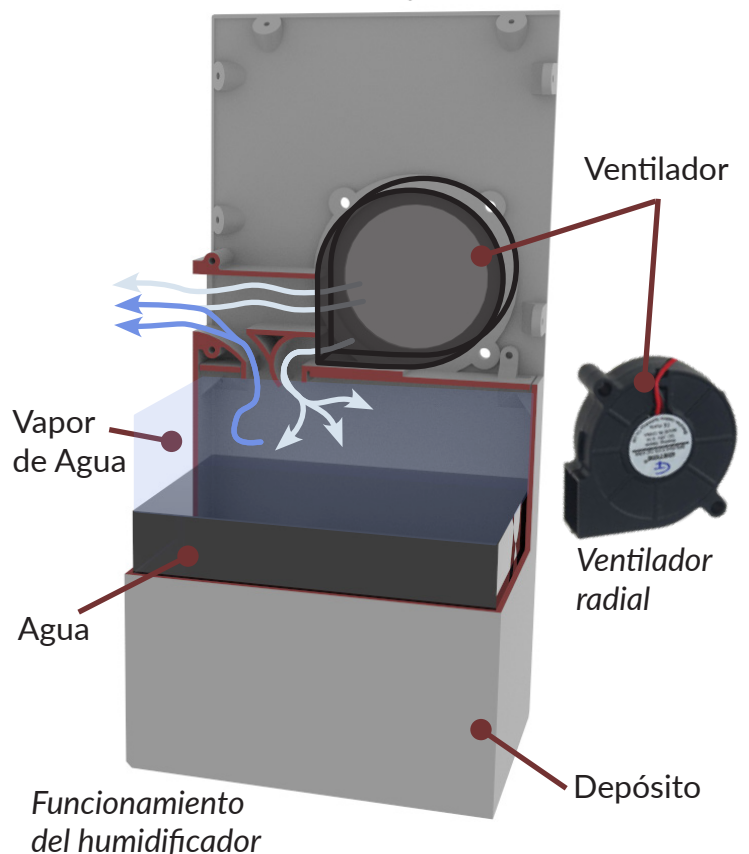


1. Tapa depósito: Esta tiene un agujero para la salida del cable del vaporizador y una entrada y salida para el aire.
2. Ventilador de 80mm.
3. Fijación del ventilador del humidificador.
4. Pared lateral: Esta tiene un agujero de entrada de aire.
5. Tapón del depósito.
6. Depósito.

El funcionamiento del humidificador es el siguiente:

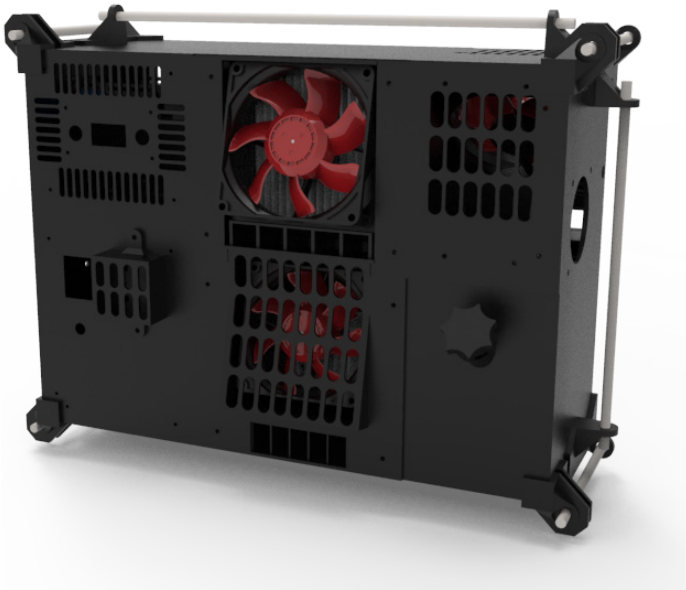
El vaporizador atomizador tiene una membrana piezoeléctrica que vibra a la frecuencia. Esto hace que se vaporice el agua y se crea una niebla de agua.

El ventilador empuja el aire al interior y lo vuelve a sacar hacia delante. Así se esparce por la caja.



# Resultado de la construcción

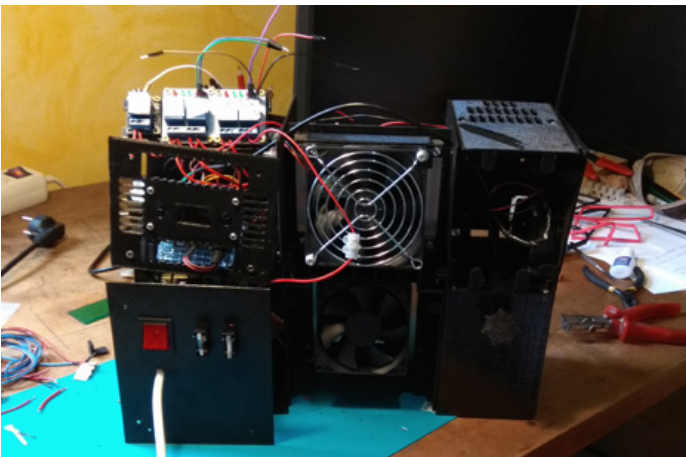
Este es el resultado del prototipo montado.



*Modelado final*



*El controlador colocado en la tapa*



*Durante el montaje*



*Hueco recortado en la tapa*



*Aspecto final del controlador*



# 6

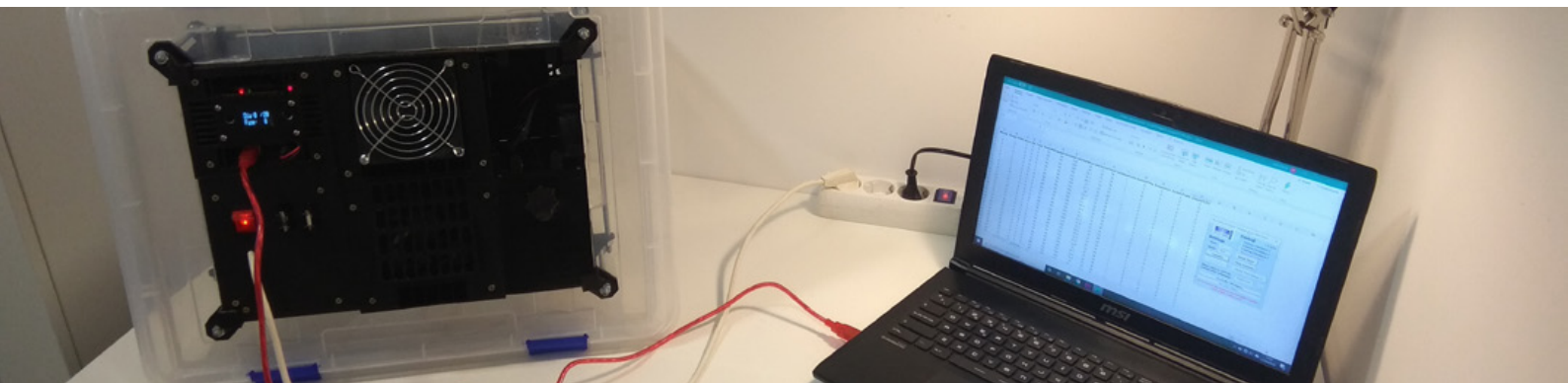
## PRUEBAS CON EL PROTOTIPO

En este apartado se describen los ensayos realizados para comprobar la respuesta del prototipo según las especificaciones planteadas.

Para obtener resultados medibles se han simulado las fases de crecimiento, en un corto periodo de tiempo, en el espacio de una caja de plástico. La toma de datos reiterada ha permitido representar gráficamente los resultados.

También se ha analizado la usabilidad del prototipo y la interacción con el.

El resultado ha sido unas conclusiones a cerca del funcionamiento y el uso del prototipo.



En este apartado queremos comprobar el funcionamiento de nuestra máquina antes de hacer un ciclo de crecimiento.

La comprobación del funcionamiento del ventilador y de la tira LED es sencillo. Con un breve programa que permite activar y desactivar los relés en cuestión se ha comprobado que funcionan sin problemas.

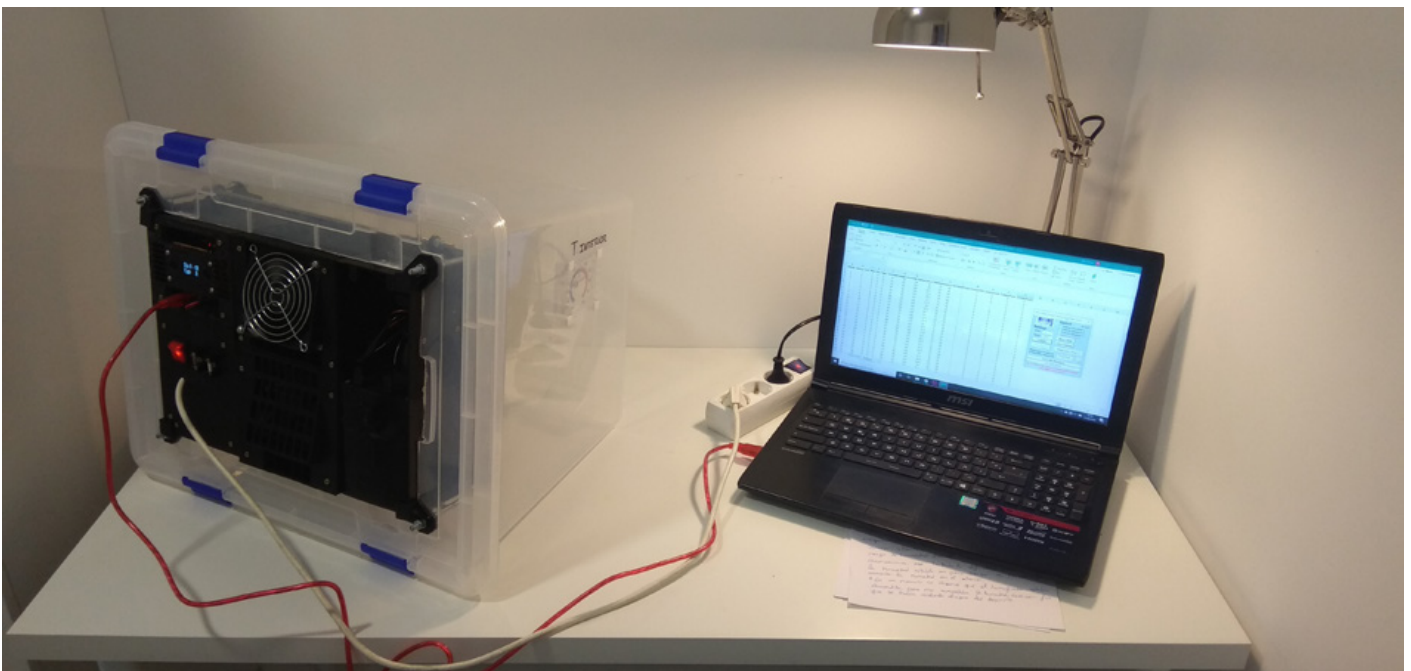
Las pruebas que quedan son el calentamiento, el enfriamiento y la humedad. Para estas tres se ha preparado el siguiente escenario:

Se ha colocado la máquina en una caja de plástico, haciendo un agujero en la tapa y los correspondientes para la fijación. Para medir la temperatura en el interior de la caja, además del sensor dht-11, he colocado un termómetro bimetálico (con resorte espiral) para comparar ambas medidas.

En los ensayos se plantean unas situaciones mas desfavorables de lo normal, para comprobar el rango en el que puede actuar la máquina.

Ensayos realizados:

- Ensayo calentamiento:  
Duración: 2 horas.  
Temperatura deseada: 35-38°C  
Temperatura de partida: 26°C
- Ensayo enfriamiento:  
Duración: 2 horas.  
Temperatura deseada: 20-25°C  
Temperatura de partida: 36°C
- Ensayo humedad:  
Duración: 2 horas.  
Humedad deseada: 90-100%  
Humedad de partida: -



Condiciones de partida:

**Volumen caja:** 50l

**Material:** PP

**Espesor:** 3mm

**Coefficiente de conductividad térmica PP:** 0,025-0,045

Para poder realizar el seguimiento se ha programado el controlador Arduino para que envíe datos de interés en cada ciclo. Estos datos son almacenados en una hoja de cálculo, lo que permite analizar los datos posteriormente.

Datos almacenados:

- **Minuto:** Minutos transcurridos desde el comienzo del programa.
- **Hora:** Horas transcurridas desde el comienzo del programa.
- **Día:** Días transcurridos desde el comienzo del programa.
- **Fase:** Fase del crecimiento en la que se encuentra.
- **H medida:** Humedad relativa en el interior de la caja en %.
- **T medida:** Temperatura en el interior de la caja en grados Celsius.
- **EstadoPcalor:** Muestra el estado de la placa peltier encargada de **calentar**. 1 = encendida, 0 = apagada.
- **EstadoPfrio:** Muestra el estado de la placa peltier encargada de **enfriar**. 1 = encendida, 0 = apagada.

- **EstadoHum:** Muestra el estado del humidificador. 1 = encendida, 0 = apagada.
- **EstadoPvent:** Muestra el estado del ventilador. 1 = encendida, 0 = apagada.
- **EstadoPLED:** Muestra el estado de la tira LED. 1 = encendida, 0 = apagada.

La columna **tiempo tot** representa el contador total de minutos, ya que la variable **Minuto** se reinicia cuando llega a 60.

Los siguientes valores han sido introducidos a mano y son constantes para todo el experimento:

- **H mínima:** Humedad mínima establecida para el experimento.
- **H máxima:** Humedad máxima establecida para el experimento.
- **T mínima:** Temperatura mínima establecida para el experimento.
- **T máxima:** Temperatura máxima establecida para el experimento.

Ejemplo de tabla:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Minuto	tiempo tot	Hora	Día	Fase	H medida	H mínima	H máxima	T medida	T mínima	T máxima	Estado Pcalor	Estado Pfrio	Estado Hum	Estado Pvent	Estado PLED
2	1	1	0	0	0	93	90	100	26	35	38	1	0	0	0	0
3	2	2	0	0	0	92	90	100	26	35	38	1	0	0	0	0
4	3	3	0	0	0	91	90	100	26,1	35	38	1	0	0	0	0
5	4	4	0	0	0	90	90	100	26,3	35	38	1	0	1	0	0
6	5	5	0	0	0	88	90	100	26,5	35	38	1	0	1	0	0
7	6	6	0	0	0	95	90	100	27	35	38	1	0	0	0	0
8	7	7	0	0	0	95	90	100	27,5	35	38	1	0	0	0	0
9	8	8	0	0	0	95	90	100	28	35	38	1	0	0	0	0
10	9	9	0	0	0	95	90	100	28,3	35	38	1	0	0	0	0
11	10	10	0	0	0	95	90	100	28,7	35	38	1	0	0	0	0
12	11	11	0	0	0	95	90	100	29,1	35	38	1	0	0	0	0
13	12	12	0	0	0	95	90	100	29,4	35	38	1	0	0	0	0
14	13	13	0	0	0	95	90	100	29,8	35	38	1	0	0	0	0

# Prueba Calentamiento

Duración: 2 horas.

Temperatura deseada: 35-38°C

Temperatura de partida: 26°C

Esta prueba consiste en medir la capacidad del controlador de mantener una temperatura superior a la ambiental en el interior de la caja.

Para ello se ha establecido un rango de temperatura deseado en el que se ha de mantener.

El funcionamiento del controlador es tal que, mientras la temperatura medida esté por debajo de la temperatura medida deseada, se conecta la peltier de calor. Una vez que alcanzamos la temperatura deseada se desconecta. Si por alguna razón se supera la temperatura máxima, se conecta la peltier de frío hasta entrar de nuevo en el rango deseado.

El siguiente gráfico representa los datos tomados durante el experimento.

La línea roja representa la temperatura medida en cada minuto. Las franjas azules indican el estado encendido de la peltier de calor.

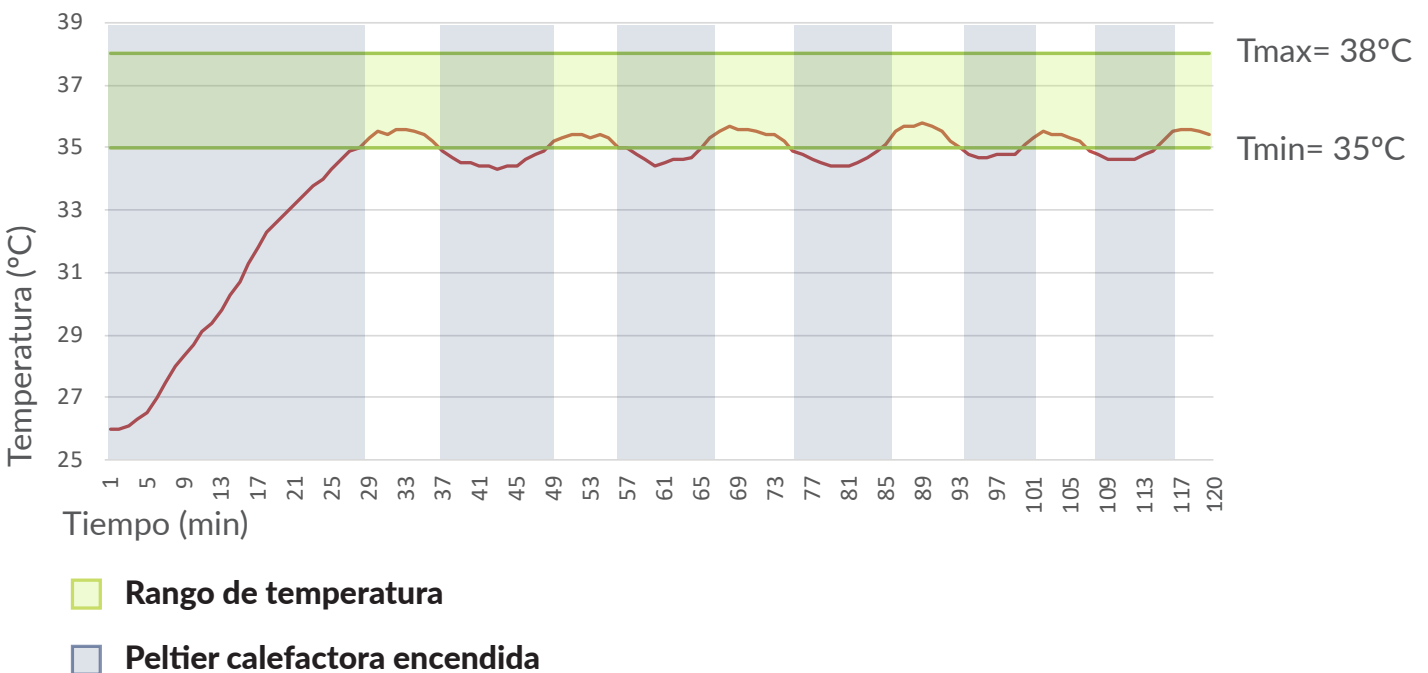
En el primer tramo se ve que la temperatura aumenta de manera constante hasta alcanzar la temperatura mínima. A partir de aquí se observa un comportamiento cíclico de entrada y salida en el rango.

Este comportamiento repetitivo se debe a la inercia térmica en el interior. Al entrar en la temperatura deseada el aire del interior todavía tiene que homogeneizarse y se acaba de radiar el calor de la peltier. Por eso sigue subiendo la temperatura a pesar de apagarse la peltier.

Cuando las pérdidas de calor vuelven a superar el calor generado la temperatura comienza a bajar en el interior.

Cuando llega a la temperatura mínima deseada vuelve a arrancarse la peltier y a generar calor. Esta tarda un tiempo en alcanzar su temperatura máxima y es cuando comienza a aumentar en el interior.

Finalmente volvemos a entrar en la zona deseada y se desconecta la peltier.





# Prueba Humedad

Duración: 2 horas.

Humedad deseada: 90-100%

Humedad de partida: -

Esta prueba consiste en medir la capacidad del controlador de mantener una humedad relativa superior a la ambiental en el interior de la caja.

Para ello se ha establecido un rango de humedad deseado en el que se ha de mantener.

El funcionamiento del controlador es tal que, mientras la humedad medida esté por debajo de la humedad deseada, se conecta el humidificador. Una vez que alcanzamos la humedad deseada se desconecta. Es el propio micelio el que absorbe humedad y hace así que esta baje en el interior.

El siguiente gráfico representa los datos tomados durante el experimento.

La línea roja representa la Humedad medida en cada minuto.

Las franjas azules indican el estado encendido del humidificador.

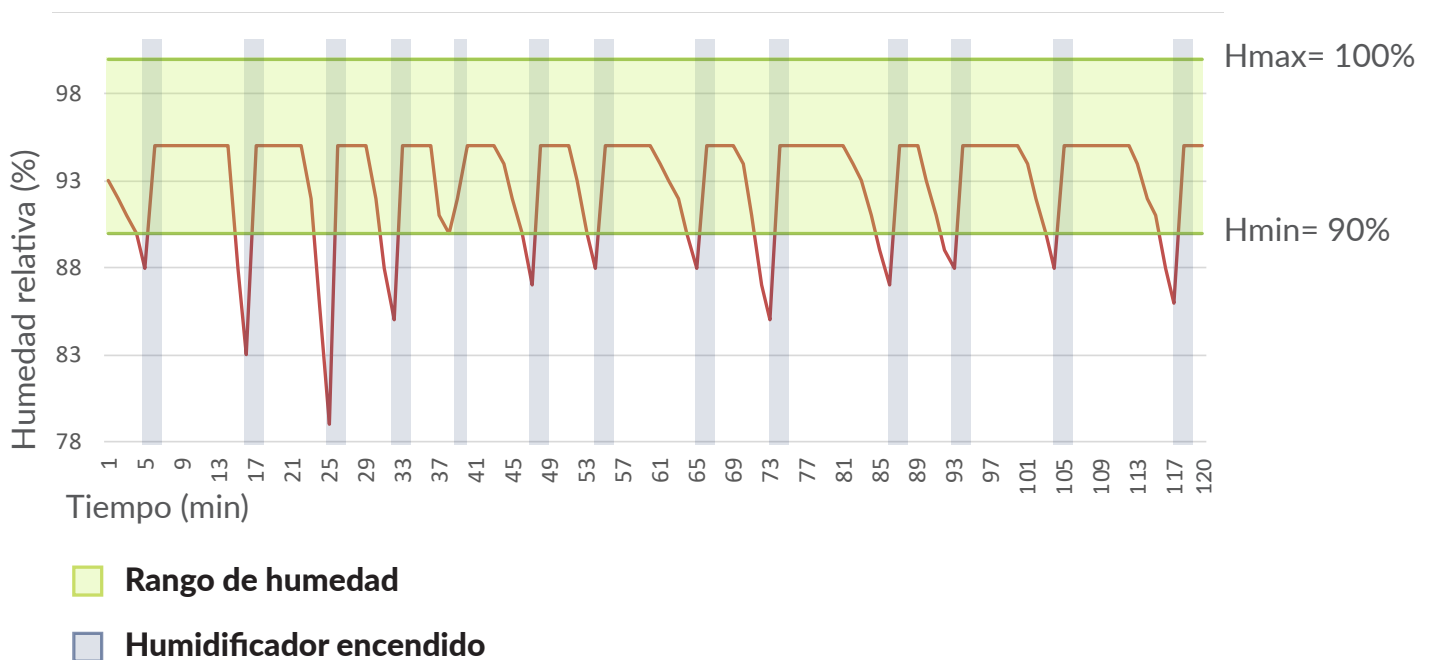
Se observa un comportamiento cíclico de entrada y salida en el rango.

Al igual que pasaba con el calentamiento, se debe al tiempo que tarda la humedad en unificarse.

Se ve además claramente la limitación del sensor. Este solo puede medir humedades relativas hasta el 95%, por eso en ningún momento se supera este valor.

Se observa que los tiempos de encendido de humidificador son muy reducidos, generalmente de tan solo uno o dos minutos.

Las bajadas de la humedad son relativamente bruscas, en poco tiempo la humedad desciende muy por debajo del rango deseado. Esto probablemente se deba al mal sellado del controlador con la caja.



# Prueba Enfriamiento

Duración: 2 horas.

Temperatura deseada: 20-25°C

Temperatura de partida: 36°C

Esta prueba consiste en medir la capacidad del controlador de mantener una temperatura inferior a la ambiental en el interior de la caja.

Al igual que la prueba de calentamiento, se ha establecido una temperatura menor que la ambiental, para probar la capacidad de enfriamiento. En este caso la temperatura en el exterior es de **27 °C**.

En la gráfica de la prueba se observa que la temperatura desciende escasos grados en un largo tiempo y finalmente se mantiene constante entre 32°C y 33°C. Este resultado está lejos de lo deseado, no solo no enfría suficiente, sino que en ocasiones la temperatura asciende.

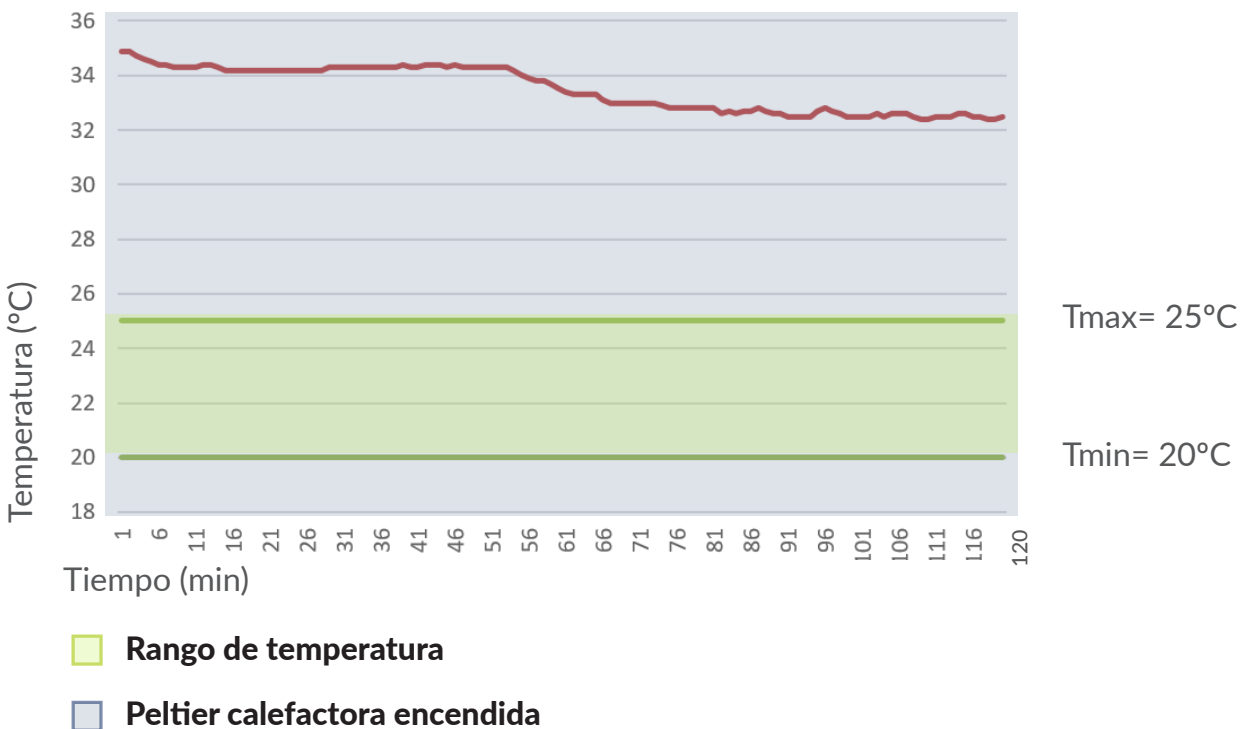
Haciendo un pequeño análisis de la situación, llevo a las siguientes hipótesis del porqué de este mal funcionamiento.

Al poner la mano delante del ventilador de la peltier de frío, en el interior de la caja, se nota una corriente de aire que claramente es de una temperatura menor a la ambiental. Esto lleva a pensar que un problema puede ser:

**El sensor de temperatura está demasiado cercano a las fuentes de alimentación y de la electrónica.** Entonces la medición de la temperatura puede ser errónea y en vez de tomar la temperatura del interior de la caja, marca la temperatura de los componentes electrónicos. Para resolverlo habría que alejar el sensor lo más posible de la electrónica.

Otra hipótesis es que **las fuentes de alimentación y la electrónica están irradiando demasiado calor** dentro de la caja y cuanto más tiempo esté funcionando la peltier, más se calentarán las fuentes. Para resolverlo habría que sacar la mayor parte del controlador fuera de la caja.

La tercera opción es que **la potencia de la placa peltier no sea suficiente.** Para resolverlo habría que aumentar la peltier de tamaño o colocar varias placas en serie.



## Interacción con el producto

Para el prototipo la principal vía de interacción que tiene el usuario es la pantalla. En ella se muestran los dos datos más importantes del avance del crecimiento, que son la fase actual en la que nos encontramos y los días transcurridos de la fase.

Como el uso del controlador puede ser también experimental, es de interés mostrar los datos que hay en el interior del cajón. El estado de los distintos componentes así como la humedad y temperatura.

La pantalla debería ser mas grande para poder ver todos los datos y tener un control sobre las fases y los distintos programas.

Si se dispone de varios controladores es necesario distinguirlos, ha de tener un sistema de identificación.

## Programa de crecimiento

Para el prototipo se ha programado únicamente los ciclos para cultivar setas de Ostra. La idea es que el usuario pueda crear sus propios ciclos de crecimiento, y ponerlos a disposición de otros usuarios. Así se crea una comunidad gracias a la información de cada cultivador.

## Depósito de agua

Para el prototipo no se disponía de un material transparente, por lo que es difícil conocer el nivel del agua. Tiene que haber una forma de controlar el nivel del agua.

Si se quiere una independencia verdadera del cultivo también sería interesante que tuviese una conexión directa al agua.

## Unión del cuerpo a la caja

En el prototipo la unión se hace mediante las varillas roscadas que traspasan 4 agujeros. Para ahorrarse estos agujeros se podría hacer un marco que se enganche con un sistema clipado, así solo sería necesario hacer un agujero rectangular.

Otra observación es que hay mucho volumen del controlador dentro de la caja y, como el prototipo no está correctamente aislado, la electrónica desprende mucho calor hacia el interior.

## Estructura de cuerpo

La manera en que se construyó el prototipo está limitada por las herramientas disponibles. Así no fue posible crear piezas de gran tamaño con la impresora 3D y como se ve son todas lo más planas posibles, que son más fáciles de imprimir.

Para el producto final se pueden plantar piezas mas grandes y que den más firmeza al cuerpo.

La distribución de los componentes dentro del cuerpo ha de ser lo más compacta posible para reducir el tamaño.

En el prototipo la luz está independiente del cuerpo y se alimenta por un conector del tipo Jack. Este formato es interesante para volúmenes grandes, pero como la luz no ha de ser nunca muy intensa en la práctica parece mas acertado integrar la luz dentro del controlador o que la luz se pueda clipar al cuerpo.

Para tener una medida de la temperatura y humedad más exacta hay que alejar el sensor de los elementos que desprenden calor y humedad.

## Normativa aplicable

Es necesario que el controlador cumpla una serie de normativas para poder comercializarse. Entre ellas se destacan:

- **Directiva 2014/35/UE.** Material eléctrico.
- **UNE-EN 60335-1:2012.** Seguridad de los aparatos electrodomésticos y análogos.
- **UNE-EN 60335-2-88:2004.** Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-88: Requisitos particulares para humidificadores destinados a ser utilizados con sistemas de calefacción, ventilación o aire acondicionado.

## Conclusiones:

De las tres pruebas realizadas solo dos han sido satisfactorias.

Tanto el calentamiento, como el control de humedad han resultado exitosas. La prueba de enfriamiento no ha cumplido las expectativas.

Para corregir estos errores se deberá estudiar:

- El posicionamiento más alejado del **sensor de temperatura** de la electrónica.
- **La disipación de calor** de la electrónica hacia el interior de la caja.
- La **potencia de la placa peltier**.

Es necesaria una comunicación fácil y clara con el producto.

El programa ha de ser de fácil manejo y personalización para permitir la experimentación y el control preciso.

Se ha de simplificar el proceso de anclado del controlador al espacio.

Se ha de asegurar una distribución dentro del controlador lo más compacta posible sin que esto afecte a la precisión de la toma de datos ni el control.

Hay que asegurar el cumplimiento de las normativas.

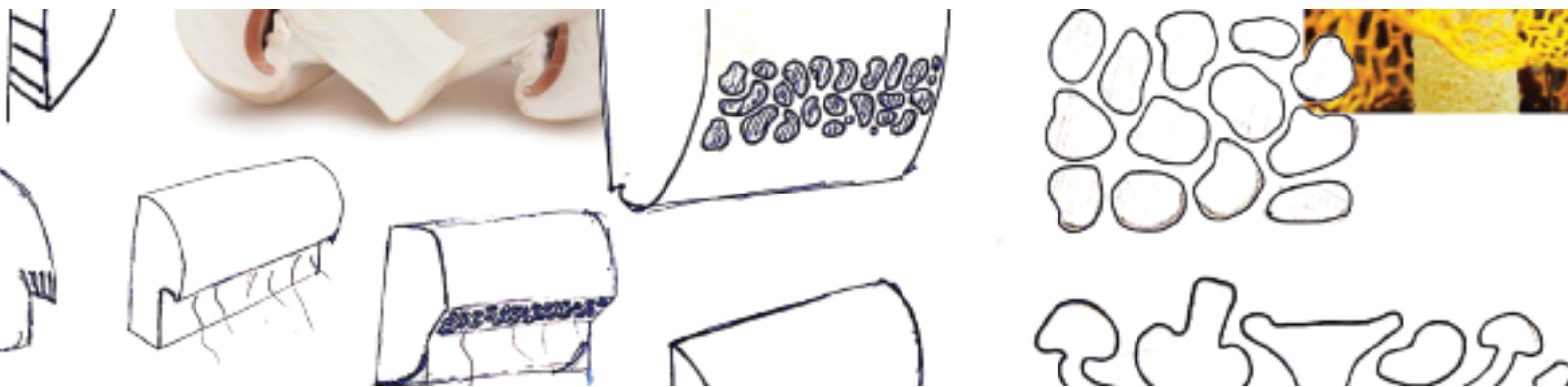
# 7

# PROPUESTA FORMAL DE DISEÑO

En este apartado se abre el camino al siguiente diseño del controlador.

A partir de los resultados del prototipado se realiza una exploración formal para diseño final.

El resultado es una propuesta formal del controlador.



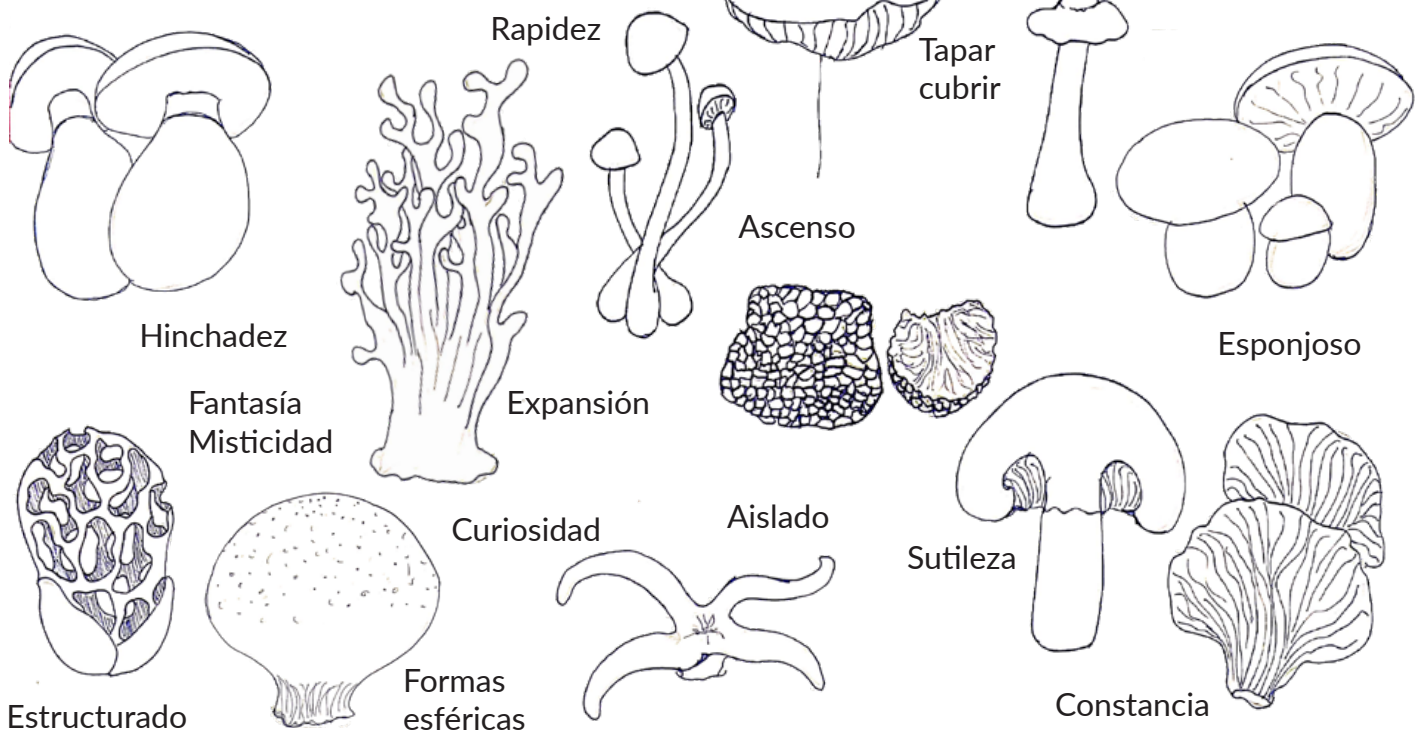
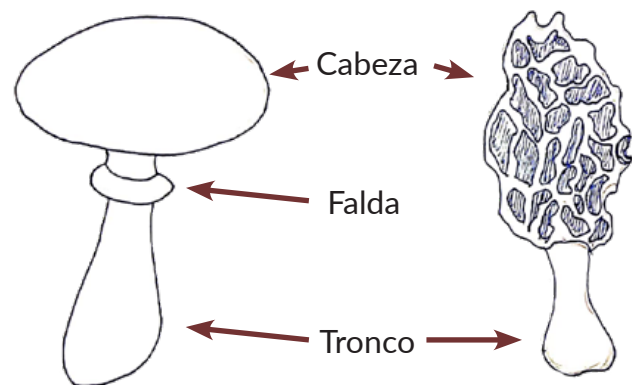
A partir de las conclusiones del prototipo comienza el diseño del nuevo producto. Se ha planteado una importante pregunta: ¿Que aspecto debe tener un dispositivo para cultivar hongos? Para acercarse a la forma se ha comenzado con unos ejercicios de observación para intentar descifrar y familiarizarse con el tema. Se han planteado preguntas como:

- ¿Que es lo que hace que una seta parezca una seta?
- ¿Que transmiten las setas?
- ¿Que estructuras se repiten?
- ¿Que colores, rasgos y formas son comunes?

Para llegar a respuesta se ha empezado a dibujar setas.

¿Que cosas se ven en común?

En la mayoría de las setas se distinguen tres partes a las que se han llamado la cabeza, la falda y el tronco.



En algunas el tronco es muy largo y esbelto, otras lo tienen corto y más hinchado. En algunas parece que la falda cubre todo el tronco o que el tronco es tan corto que directamente crece desde la falda. Algunas cabezas son pequeñas, otras grandes. Algunas cabezas parecen tener una estructura compleja y entrecada y a la vez sigue un orden casi como el de una colmena, pero la mayoría acaban en una cabeza lisa que tiende a formas esféricas

Generalmente las especies no comestibles tienen las formas más abstractas y los colores más llamativos, Mientras que las comestibles tienden a los colores marrones y blancos.

Se comienzan a ver ciertos conceptos que transmiten las setas.

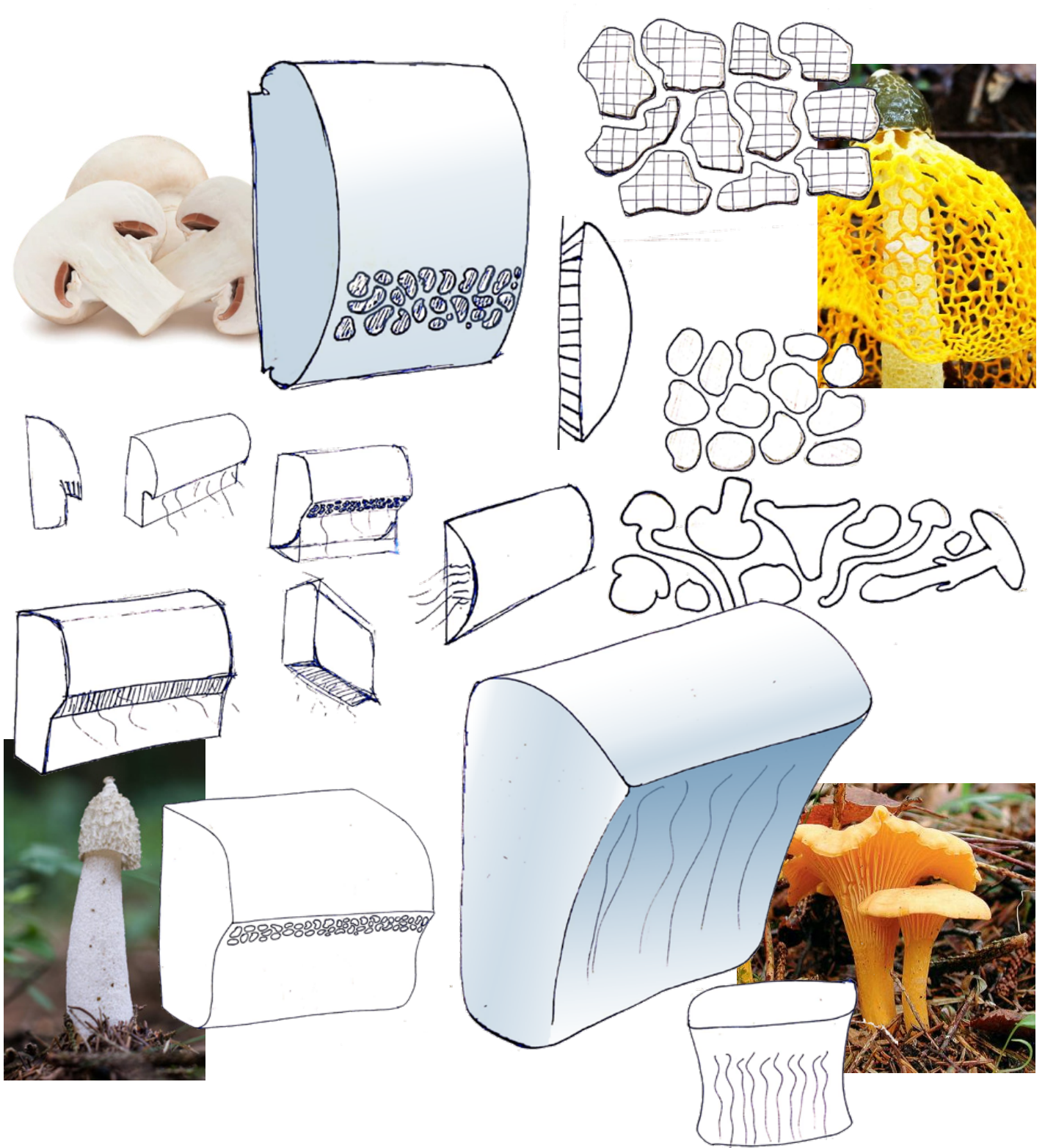
Tras meditar sobre estos conceptos e inspirarse en muchos tipos de setas se ha llegado a un mensaje que se quiere transmitir con el producto:

### "No solo cultiva champiñones"

Haciendo alusión a que también se puede experimentar con el cultivo.



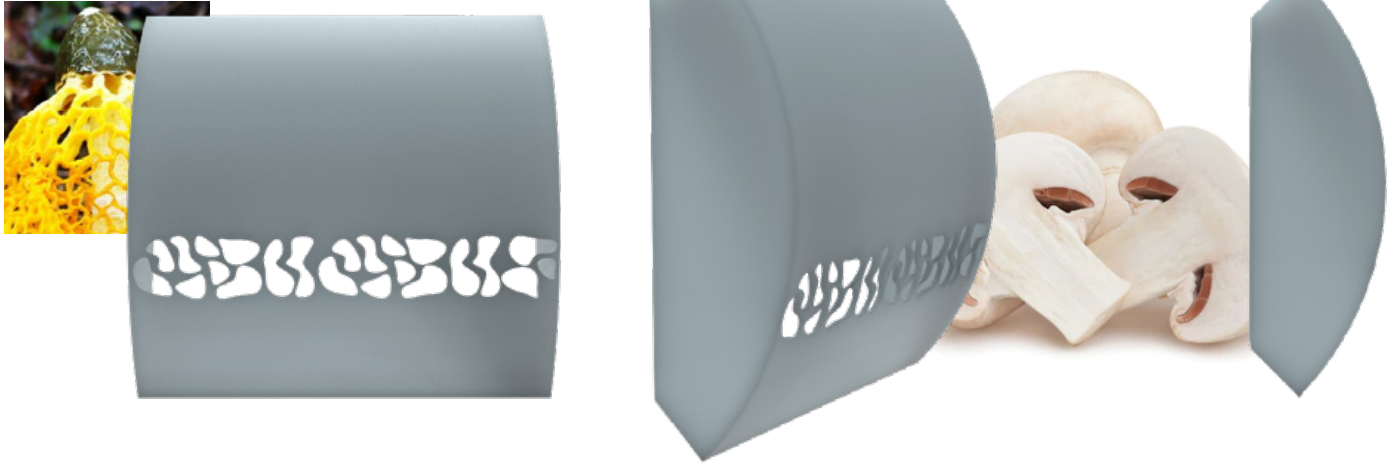
A partir de estas observaciones se comenzó a generar formas que recuerden a estos mismos conceptos.



Las ideas de mayor interés se han representado mediante volúmenes 3D sencillos para mejorar su comprensión.

Finalmente se ha escogido el concepto de Tejido como marcador del estilo a seguir.

### Concepto 1: Tejido



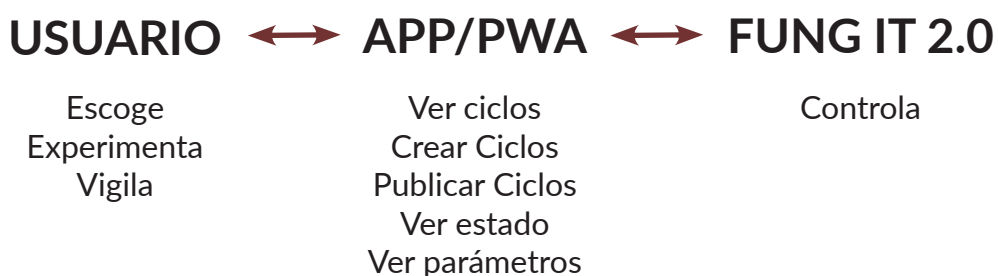
### Concepto 2: Filamento



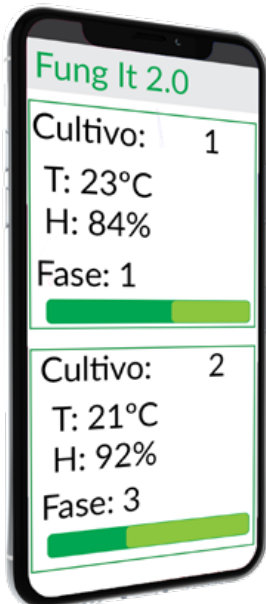
## Interacción

Para evitar el uso de una pantalla en el producto se plantea que toda la interacción sea a través de una aplicación APP o PWA\*<sup>1</sup> que se conecte al controlador mediante conexión del tipo NFC, Wifi o Bluetooth.

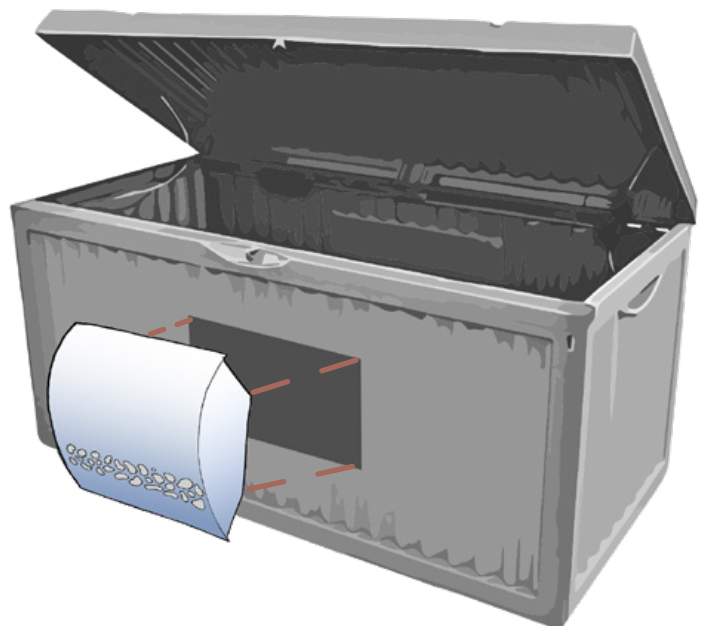
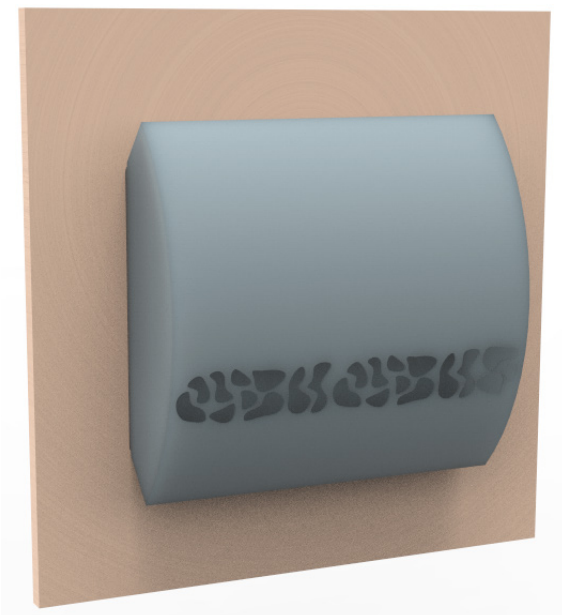
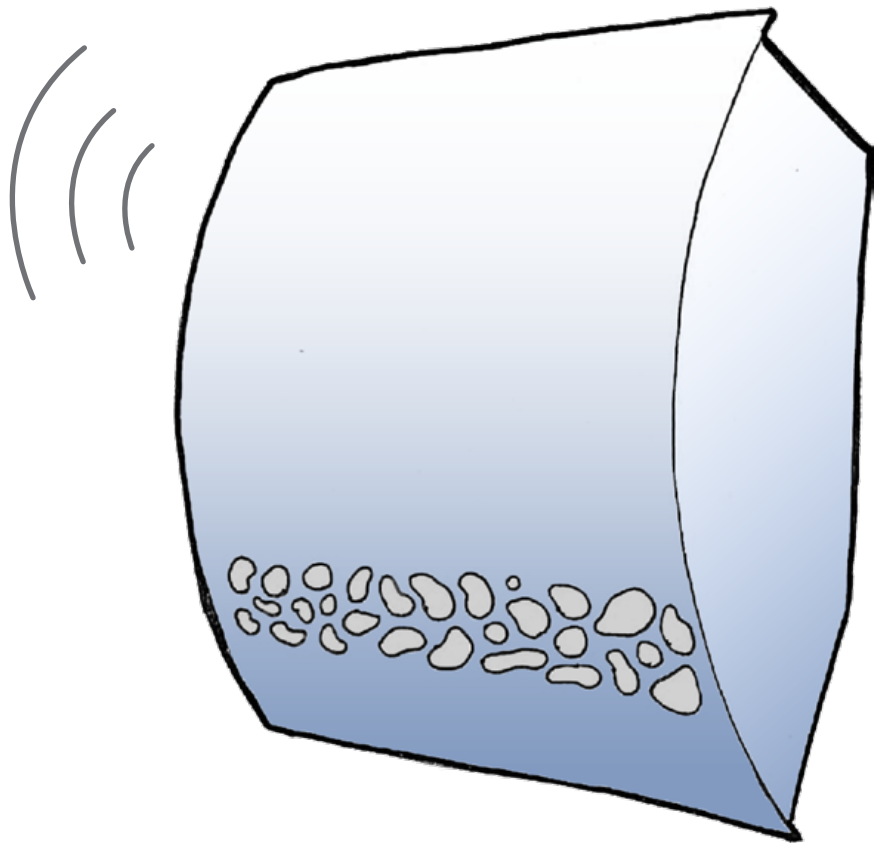
\*1: PWA (Progressive Web App): Se trata de una aplicación sin necesidad de descarga ya que se ejecuta desde el navegador web



# Fung It 2.0



Interacción por  
APP/PWA

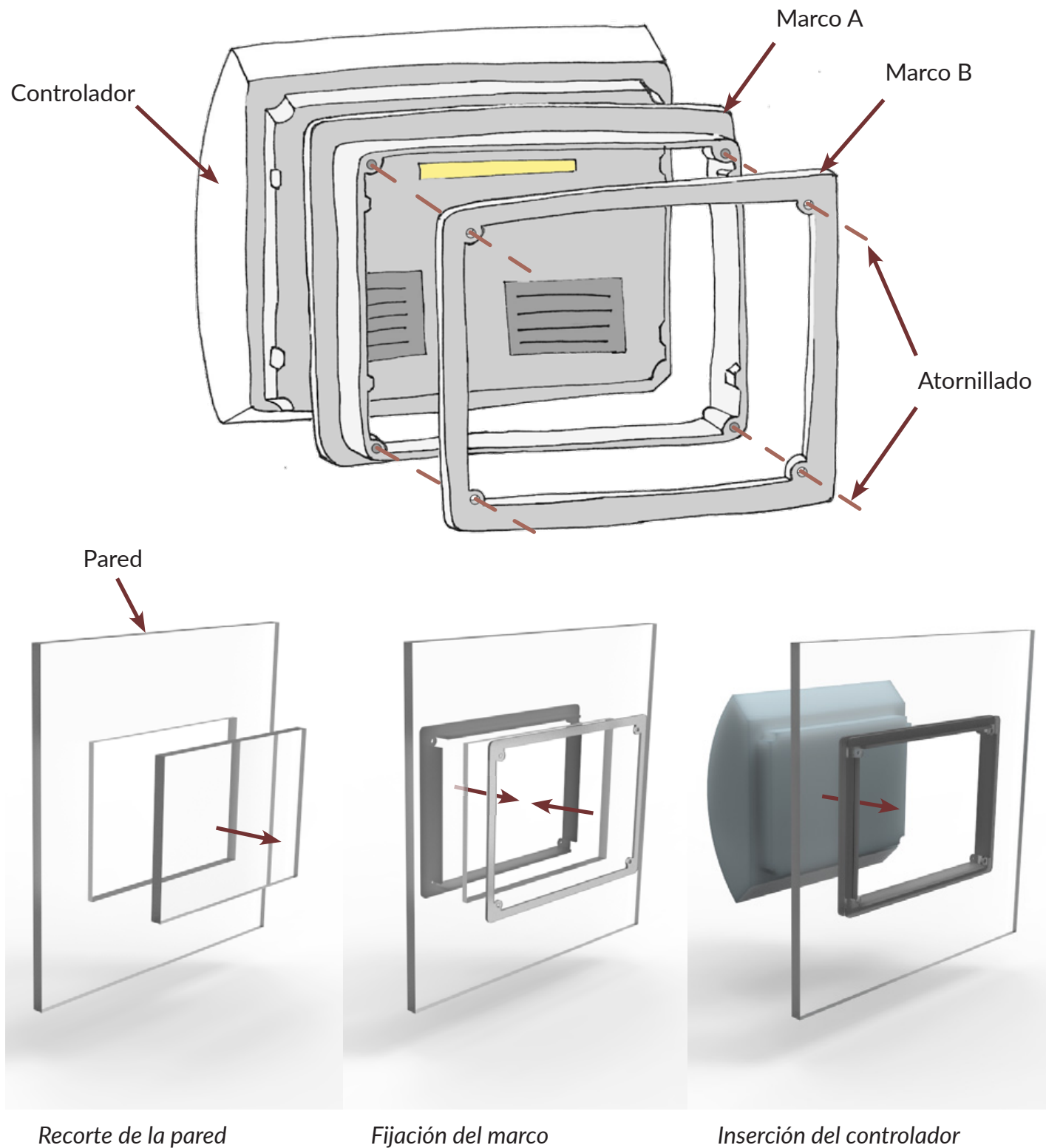


# Anclaje

Para la fijación es necesario un sistema que se adapte al grosor de la pared del espacio en el que queremos cultivar los hongos. Haciendo mediciones de distintos espacios posibles se ha estimado un rango de espesores de entre 3 y 50 mm.

Además, el recorte en el espacio ha de ser lo más sencillo posible.

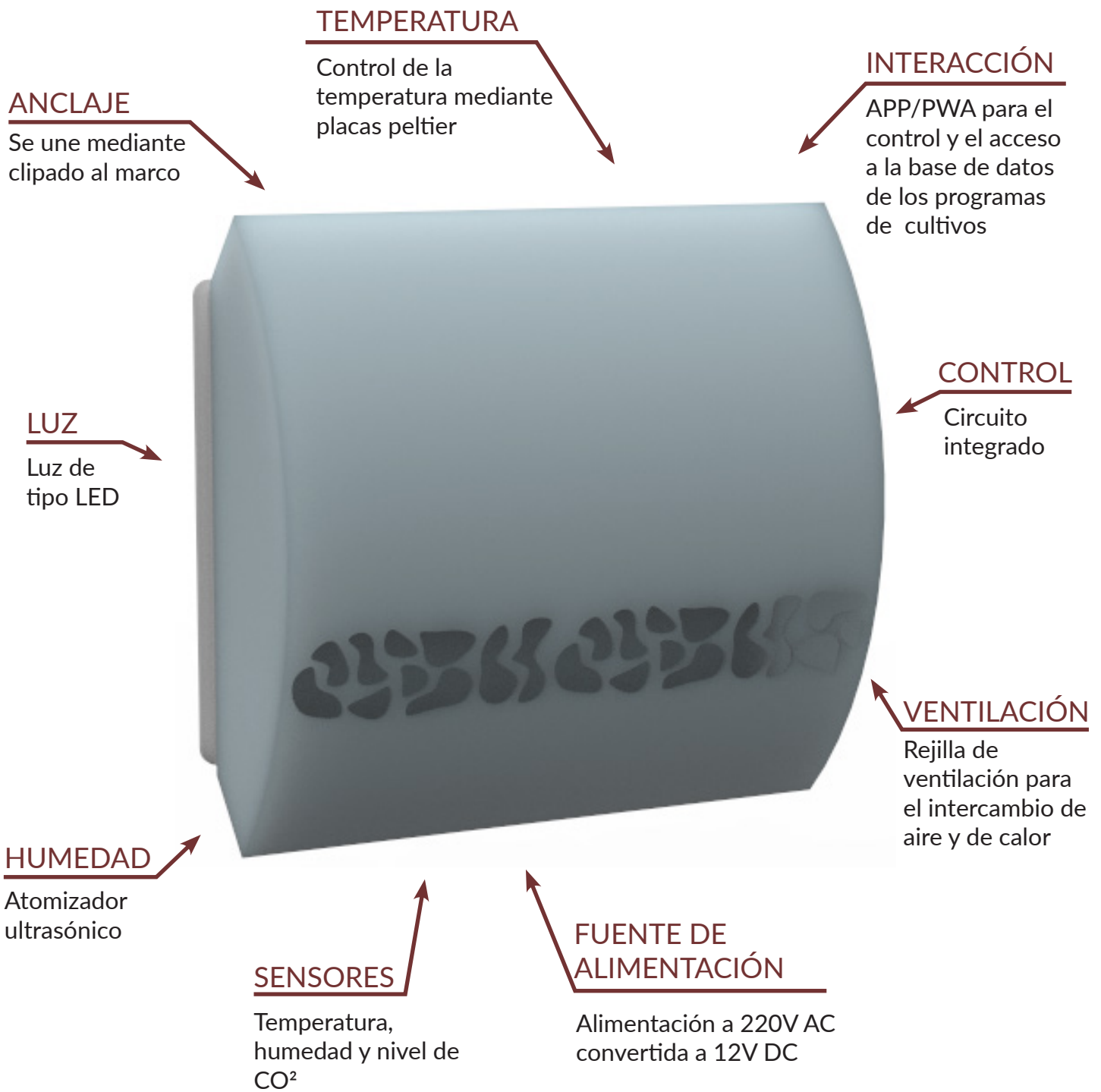
Se plantea un sistema compuesto de dos piezas que forman un marco que se engancha a la pared del espacio. Estas piezas se colocan una de cada lado de la pared y se atornillan entre ellas, dejando un marco firme. Finalmente se introduce el controlador dentro del marco con un sistema de clipado.





# Distribución de componentes

Entre los componentes que ha de integrar el diseño final se pueden destacar los siguientes:



# 8 CONCLUSIONES

Hemos comprobado que el diseño propuesto es factible, el circuito de control es barato y fácil de implementar y los ensayos han sido prometedores.

Los errores nos han enseñado que es necesario realizar cambios en la distribución de los componentes internos así como mantener la mayor parte del volumen del controlador fuera del espacio de cultivo.

Del Diseño del prototipo se pueden destacar:

## Aciertos:

- El empleo de la placa peltier para el calentamiento y el control de la humedad mediante el vaporizador ultrasónico han sido exitosos.
- El programa del controlador ha cumplido su función con éxito y es de fácil modificación.
- El cuerpo del prototipo ha resultado sólido y ha permitido albergar todos los componentes del controlador. Se ha podido fijar con éxito al espacio a controlar, en nuestro caso una caja de plástico.
- El circuito electrónico ha cumplido su función.

## Desaciertos:

- Las pruebas de enfriamiento no han resultado satisfactorias.
- La comunicación con el prototipo mediante la pantalla ha resultado confusa y se debe modificar.

En lo que refiere a la propuesta formal del diseño se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- El sistema de enganche es simple y solo requiere de un recorte rectangular para la colocación.

- El control de la máquina se realiza mediante un Smartphone que está conectado a una base de datos de ciclos de cultivo alimentada por los propios usuarios.
- El aspecto del controlador recuerda a las formas de los hongos y las setas comestibles que se encuentran en la naturaleza, incitando al usuario a experimentar con su cultivo.

## Aprendizajes adquiridos:

El desarrollo del proyecto ha requerido ampliar mis conocimientos en diversas materias. Estas se habían tratado durante la carrera, pero no con la profundidad suficiente. Se pueden destacar:

- Elaboración de presupuestos para el pedido de componentes.
- Creación de esquemas eléctricos.
- Soldado de componentes electrónicos.
- Profundización en la programación con C++ para el controlador Arduino.
- Diseño de piezas para prototipado rápido mediante impresión 3D.
- Tratamientos para mejorar el acabado de piezas impresas en 3D.
- Realización de ensayos mediante muestras de datos periódicos con excel, vinculado al controlador Arduino.
- Aplicación de técnicas creativas basadas en la observación.



# 9 BIBLIOGRAFÍA

Cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Agromática: La web de referencia de agricultura. Consulta: 20 Mayo 2019]. Disponible en: [www.agromatica.es/cultivo-pleurotus-ostreatus/](http://www.agromatica.es/cultivo-pleurotus-ostreatus/)

DANIEL GRIMM & HAN A. B. WÖSTEN. "*Mushroom\_cultivation\_in\_the\_circular\_economy*". Publicado en: Applied Microbiology and Biotechnology, Septiembre 2018. DOI: 10.1007/s00253-018-9226-8

JOHN LEGGETTE. "*The Basic Guide to Urban Mushroom Cultivation*". Publicación independiente, 2018. ISBN: 1724179225.

JUAN RODRÍGUEZ, NÉSTOR F. SANABRIA Y ALFREDO CHACÓN. "*Control de temperatura y humedad para el cultivo de hongos comestibles*". Vol. 6, N°. 1, 2012. ISSN-e 2248-4728, ISSN 1909-9746.

