



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos

Título del proyecto:

**DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UNA
INCUBADORA DE HUEVOS DE REPTIL**

Xabier Urra Martínez

Tutor:

Miguel Ángel Campo Bescós

Fecha:

Junio-2016



Resumen

En este proyecto se va a diseñar y llevar a cabo el prototipado de una incubadora de huevos de reptil respondiendo a las necesidades de los reptiles más comunes en el mercado actual. Este proyecto también responde a las necesidades del usuario amateur de forma que tenga acceso a una incubadora de calidad, pero económicamente accesible asequible.

Esta se ha controlado con un micro controlador Arduino UNO de forma que este detecte la temperatura y humedad interna de la incubadora mediante sensores, y en función de a la temperatura que se desee establecer (temperatura objetivo), y los límites añadidos, actúe el sistema de aclimatación de una forma u otra.

Para el sistema de aclimatación se ha usado una Placa de Peltier de potencia media, a la que se le ha añadido dos disipadores con ventiladores y un sistema de cambio de polaridad basado en relés controlados por el micro controlador Arduino.

Summary

The aim of this project is to develop a reptile's egg incubator prototype. It is designed regarding the necessities of the most common reptiles in the market. Plus, this project satisfies the necessities of an amateur user, providing a low cost but high quality incubator.

Regarding the incubator, it has been controlled with an Arduino micro controller. This micro controller has sensors that can detect the temperature and humidity inside the incubator. Hence, desired temperature (called "temperatura objetivo") but also limits added can be established. Thus, the incubator will work in different ways depending on conditions.

Concerning the acclimatization system, a medium power Peltier plaque has been used. This system incorporates two ventilated dissipators and a polarity change system which is based on relays, being controlled by the Arduino micro controller mentioned above.

Palabras clave

Incubadora huevos reptil; Incubadora; Reptil; Huevos de reptil; Arduino; Programación; Arduino; Termostato Arduino; Termostato; Placa Peltier; Sistema de enfriado; Sistema de calor; Puente H y Display LCD



ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Objetivo del proyecto.....	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Requisitos de diseño	4
1.3.1	Características a alcanzar	4
1.3.2	Necesidades de los huevos en función del reptil	4
2	Propuesta de diseño del prototipo	8
2.1	Elementos eléctrico/electrónicos utilizados en el proyecto	9
2.1.1	Micro controlador	9
2.1.2	Sensor de humedad	11
2.1.3	Sensor de temperatura	12
2.1.4	Interruptores controlados.....	14
2.1.5	Pulsador.....	15
2.1.6	Salida visual (LCD 16x2).....	16
3.	Caja contenedora	18
3.1	Diseño caja	19
3.1.1	Aplicación prototipo.....	19
3.2	Aislante prototipo	20
3.2.1	Prueba de pérdidas de calor	21
3.3	Diseño de tapa.....	22
3.3.1	Ventana de la tapa	24
3.3.2	Marco de la tapa	24
4.	Hardware.....	26
4.1	Elección del sistema de aclimatación de temperatura	26
4.1.1	Bomba de calor	26
4.1.2	Placas Peltier	27
4.1.3	Elección	28
4.2	Conjunto sistema de aclimatación	29
4.2.1	Elección de la placa Peltier	29
4.2.2	Elección de sistema de disipadores.....	30
4.2.3	Conjunto final	35
4.3	Cambio frio/calor	36
4.3.1	Primera alternativa.....	36



4.3.2	Segunda alternativa.....	41
4.3.3	Tercer alternativa	45
4.3.4	Resumen elección	49
4.4	Termostato y humedad.....	52
4.4.1	Diseño general.....	52
4.4.2	Conexiones	56
5.	Software	57
5.1	Diagrama de flujo programa	57
5.1.1	Modo Medir Temperatura	58
5.1.2	Modo Ajuste Temperatura Objetivo	60
5.1.3	Modo Ajuste Límites	62
5.2	Consideraciones tenidas en cuenta para la programación	63
5.2.1	Rebote de pulsador	63
5.2.2	Programa termistores	64
5.2.3	Librerías usadas.....	66
6.	Presupuesto	67
7.	Posibles mejoras para el futuro	68
8.	Conclusión	68
9.	Bibliografía	69
	Anejo 1 Planos.....	75
	Anejo 2 Programa incubadora.....	86



1 Introducción

1.1 Objetivo del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo el diseño de una incubadora de huevos de reptil. Esta deberá ser funcional a la par que económicamente accesible para el cuidador de reptiles amateur.

La razón de este proyecto ha sido el interés personal por los reptiles sumado a la pequeña gama de incubadoras de huevos de reptil que existe en el mercado, teniendo estas un precio muy elevado y unas características que no van acorde con el precio.

El mundo de los reptiles se va abriendo paso en los mercados de las mascotas, en general el público cada vez es más receptivo ante estos animales y los reproductores cada vez tienen más información sobre como reproducir ciertas especies en cautividad.

Por tanto la cantidad de población con un reptil por mascota está aumentando y por tanto aumenta el mercado de todos los productos que acompaña este mundo.

Si la población con reptiles por mascota aumenta, paralelamente aumentará la demanda de incubadoras y como ya se ha dicho, no hay ninguna incubadora asequible para un usuario amateur.

Por lo general la mayoría de los reptiles necesitan una temperatura que oscila entre los 25 y 34°C en función de la especie, además de una humedad relativa superior al 75% en prácticamente la totalidad de pequeños reptiles que se comercializan. Incluso algunas especies necesitan una temperatura muy concreta, por lo que variaciones de temperatura pueden matar al feto. En este caso, a pesar de encontrarse en una zona lo suficientemente cálida, se necesitaría el uso de una incubadora que estabilizase la temperatura lo máximo posible.

Por tanto lo que se va a hacer es el diseño de una incubadora competente con un coste reducido.

Para que el diseño sea lo más real y funcional posible, se va a realizar también la construcción de un prototipo, de forma que se puedan ver las dificultades que pueden surgir a la hora del diseño y corregirlas.

Se hará el presupuesto del prototipo, teniendo en cuenta que es un prototipo construido a nivel usuario, es decir, con herramientas y presupuesto limitado, por lo que el presupuesto resultante del prototipo seguramente se podría ajustar en gran medida a nivel industrial.

Por último se realizara un apartado en el cual se añadirán las dificultades que se han tenido en la construcción del prototipo y posibles mejoras que se podrían añadir en un futuro.



1.2 Antecedentes

Como datos de partida se van a estudiar las 2 incubadoras líderes en este terreno como son:

- Incubadora EXO-TERRA-PT2445 (Figura 1)
- Incubadora rcom MX-R60 (Figura 2)

Las características de cada una son muy similares, no obstante, a continuación se expondrá una lista de las mismas individualmente.

Incubadora EXO-TERRA-PT2445



Figura 1 Incubadora Exo Terra

- Calienta y Enfría
- Control Digital de Temperatura con indicador luminoso LED de configuración de temperatura – la temperatura de incubación ajustable le permite proporcionar la temperatura de incubación correcta para cada especie
- Combinación precisa de refrigeración y calefacción para evitar la pérdida de huevos causada por fluctuaciones extremas de temperatura
- Bandeja extraíble para regular los niveles de humedad
- Interruptor de luz interior (on/ off) situado en el panel frontal para controlar fácilmente los huevos, sin perturbar el proceso de incubación
- Interruptor de encendido situado en el panel frontal, el interruptor de on/off le permite apagar y encender la unidad en el medio de incubación



- Ideal para la hibernación
- Ideal para transporte con clima controlado de reptiles y anfibios (por ejemplo, animales recién adquiridos)
- Medidas: 33 cm largo x 36 cm ancho x 45 cm alto.
- Datos obtenidos en la página oficial de la marca:

Incubadora rcom MX-R60:



Figura 2 Incubadora rcom MX-R60

- Incubadora para huevos de reptiles.
- Con captador de temperatura y humedad.
- Alarma para temperaturas muy elevadas o muy bajas en relación con el ajuste de la misma.
- Simula los ciclos diurnos y nocturnos para la diferencia de temperaturas.
- Recipiente de incubación separado del sustrato con el fin de evitar que se seque la membrana de los huevos.
- Dos recipientes de incubación separados (8 compartimentos para incubar en cada uno de los recipientes) permite una incubación independiente.
- El tamaño de las células de incubación es ajustable individualmente.
- Función memoria de salvaguardar los datos en caso de corte de luz.
- Limpieza y desinfección fácil.
- Medidas 34x21x23



En cuanto al coste, no se ha podido determinar por falta de información, dado que estos productos no están muy extendidos.

Por otro lado el precio de las mismas varía mucho en función de la plataforma de internet que se elija o en función de la tienda física que se visite. De media, estos productos superan los 200-250€.

Como se puede comprobar, a parte de las características de diseño como pueden ser las bandejas de control de humedad, o los recipientes para dejar los huevos... las características de estas dos incubadoras, básicamente se puede reducir en:

Un recipiente que consta de un termostato y un sistema de regulación de temperatura, así como de un higrómetro y una caja de control en la que se puede programar la temperatura deseada.

En cuanto a las medidas de estas, se puede ver como la incubadora de la marca EXO-TERRA es casi el doble de grande que su competidora de la marca Rcom. En el caso de este proyecto se hará una incubadora de tamaño similar al de la incubadora de la marca EXO-TERRA

1.3 Requisitos de diseño

En este apartado quedan recogidas, todas aquellas consideraciones tenidas en cuenta para la elaboración final del proyecto.

1.3.1 Características a alcanzar

En función de las características de las incubadoras tenidas como referencia, se intentará igualar o superar sus prestaciones a un coste menor, por tanto, las características que debe tener serán las siguientes.

- Satisfaga las necesidades de los huevos de reptiles más comunes
- Correcto control de la temperatura desde 15 hasta 35°C como mínimo (de esta forma se puede aprovechar la refrigeración de la incubadora para hibernar si fuera necesario a algún reptil)
- Salida visual de temperatura y humedad interna
- Forma compacta y manejable, además habrá que tener en cuenta la posible estratificación de la temperatura en el interior de la misma
- Control parcial de la humedad, de forma que varíe dentro de un rango aceptable para los huevos
- Evitar en la medida de lo posible la salida de hongos

1.3.2 Necesidades de los huevos en función del reptil

En el siguiente apartado se van a detallar las condiciones de cuidado de los huevos de los reptiles más comunes en el mercado actual, para los que se está diseñando esta incubadora.



Como se puede ver en este cuadro se separa la temperatura en machos y hembras puesto que muchos reptiles definen su género en función de la temperatura de incubación de los huevos. Además estos reptiles que en función de la temperatura definen el sexo tienen una temperatura intermedia en la que los mismos saldrán de ambos sexos. Dado que el mundo de la cría de reptiles es muy reciente, se carece de muchos datos en cuanto a una incubación óptima de los mismos, en el siguiente cuadro se han resumido los datos esenciales para su cría.

Cuadro 1 Condiciones para cría de diferentes reptiles

Nombre	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Fuente
	Genérica	Macho	Hembra		
Pogona/ Dragón barbudo	28-30	31-32	25-26	75-90	http://www.iguania.com/fichas_articulos/pogona_vitticeps.php
Agama	28	29	26-27	75-85	http://www.iguania.com/fichas_articulos/xenagama_taylori.php
Uromastyx / Dragón de cola espinosa	30,5-32	-	-	75-85	http://www.kingsnake.com/uromastyx/caresheets/MOROCCON1.htm
Dragón de agua	29 - 30	-	-	75-90	http://www.iguania.com/fichas_articulos/physignathus_cocincinus.php
Geko leopardo	28-30	31-32	25-27	70-80	http://www.botanical-online.com/animales/cuidados_gecko.htm
Python de bola	30-32	-	-	75-85	http://www.botanical-online.com/animales/pitonindia.htm
Camaleón calypttratus	25			75-85	-
Tortuga mapa falsa	28	25	30-32	75-85	http://www.botanical-online.com/animales/tortuga-graptemys.htm
Iguana	30	-	-	75-85	http://www.botanical-online.com/animales/iguana.htm

Como se puede observar en el Cuadro 1 todas las especies de reptiles necesitan entre 25 y 32 grados centígrados y una humedad superior al 75%

A continuación se van a insertar unas imágenes con los reptiles nombrados en el cuadro anterior.

Pogona / Dragón barbudo:



Figura 3 Pogona

Agama:



Figura 4 Agama

Uromastyx / Dragón de cola espinosa:



Figura 5 Uromastyx

Dragón de agua



Figura 6 Dragón de Agua

Gecko leopardo



Figura 7 Guecko Leopardo

Python de bola:



Figura 8 Python de bola

Tortuga mapa falsa:



Figura 9 Tortuga mapa falsa

Iguana:



Figura 10 Iguana



2 Propuesta de diseño del prototipo

Como se ha indicado anteriormente, el objetivo principal de este proyecto es el diseño y creación de un prototipo de incubadora de huevos de reptil. Por lo tanto hay que ser capaz de controlar la temperatura del interior de forma correcta y mantener una humedad relativa alta para una correcta incubación de los huevos.

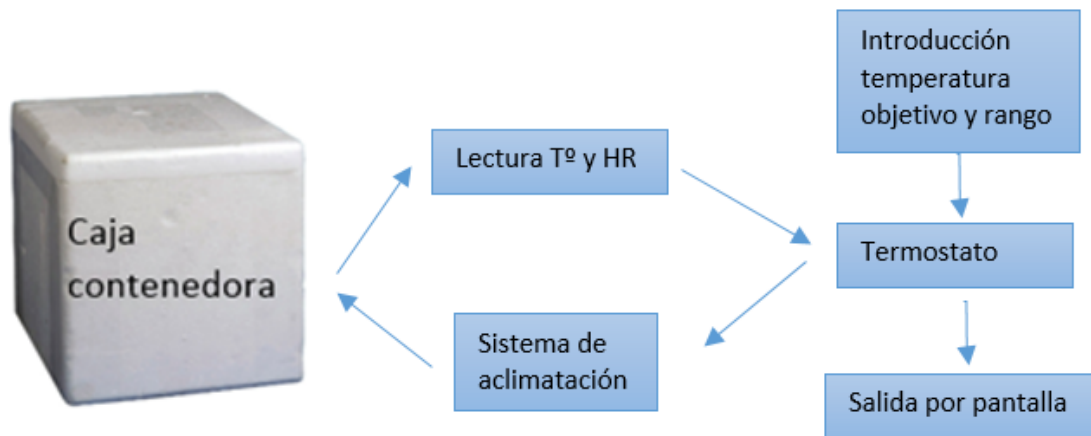


Figura 11 Esquema general control incubadora

En la figura 11 se puede ver de forma muy simplificada el esquema que se seguirá para el control de la incubadora, de esta forma se estructura el diseño y se puede desglosar el proyecto en varias fases.

En concreto se ha decidido dividir el diseño en tres grandes apartados.

- 1 Caja contenedora
- 2 Hardware
- 3 Software

Caja contenedora

En el apartado de caja contenedora se detallaran los materiales usados para la construcción del prototipo, así como los planos de la misma. Además se hará un testaje de la capacidad aislante que tiene la caja.

Dentro de la caja se pueden distinguir dos partes, la parte de la caja propiamente dicha y la parte de la ventana que tiene que llevar para poder ver el interior de la misma. Ambas partes se explicaran en el apartado de caja contenedora



Hardware

En este se detallarán los sistemas usados tanto de sensores, como de actuadores como el controlador que detecta los datos de los sensores y los traduce en acciones de los actuadores.

Por tanto se detallaran los elementos usados en el prototipo y el proceso de selección, puesto que al ser un prototipo se han probado varias formas de solucionar un mismo problema, y se han elegido las soluciones más acordes con el objetivo a alcanzar, que es funcionalidad y coste.

En el apartado hardware básicamente se detalla la construcción del termostato que controlará la temperatura, el sistema de medida de la humedad y el propio sistema de aclimatación.

Software

Por último en este apartado se va a presentar el programa volcado en el sistema de control el cual controla la incubadora en su conjunto.

Se explicara paso por paso la función del programa y los problemas que han ido surgiendo a lo largo de la programación del mismo.

2.1 Elementos eléctrico/electrónicos utilizados en el proyecto

A continuación se van a señalar los elementos principales usados para el diseño de la incubadora. Se van a introducir tanto los usados finalmente en el prototipo, como los desechados durante el diseño.

2.1.1 Micro controlador

Para hacer posible la lectura de los diferentes sensores y que los actuadores se ejecuten en función de los datos de los anteriores. Además también debe de ser posible introducir el valor de la temperatura objetivo y de los límites superior e inferior que se le da para que la temperatura se encuentre en dicha temperatura con el rango establecido.

Para ello se va a utilizar ARDUINO.

Este es una plataforma electrónica open-source pensada para facilitar proyectos electrónicos multidisciplinares.

Inicialmente la plataforma Arduino se diseñó como una herramienta económicamente asequible para estudiantes, además de simplificar mucho la forma de programarlo. Actualmente esta plataforma es utilizada tanto para estudiantes, como para iniciados en la electrónica hasta profesionales para prototipos...

Esta plataforma además es libre y se encuentra en la red multitud de librerías para poder controlar todo tipo de sensores. Además existen muchos sensores preparados ya para funcionar con Arduino, por lo que se simplifica bastante la parte de software.

Por todo ello se ha elegido esta plataforma para controlar la incubadora.

En cuanto el modelo de Arduino a usar, existen multitud de modelos. En general se diferencian unos de otros en la cantidad de puertos analógicos y digitales que tiene para poder conectar.



En este caso, como el número de sensores y de actuadores no es excesivamente elevado, ha sido suficiente con utilizar el Arduino UNO.

Arduino UNO

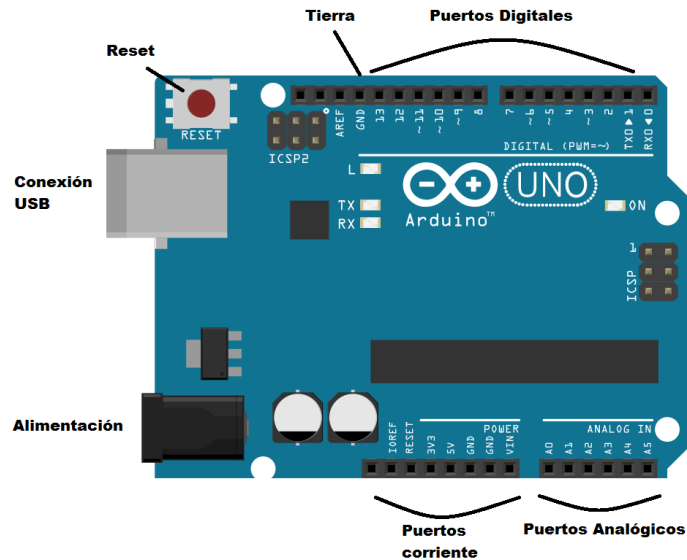


Figura 12 Arduino UNO

Esta es una placa electrónica basada en el ATmega328P (micro controlador usado). Como se puede ver en la figura 12 cuenta con 14 puertos digitales los cuales se pueden configurar como de entrada o salida. Además, de esos 14 puertos, 6 se pueden utilizar como salidas PWM (una forma de convertir salidas digitales en señales similares a las analógicas mediante lecturas de pulsos). Tiene también 6 puertos analógicos, conexión USB, conector de alimentación y botón de reinicio.

Como se puede ver es una forma muy sencilla de conectar los sensores y los actuadores al controlador. Además el volcado del programa al Arduino es tan simple como conectar el Arduino al ordenador mediante el puerto USB.

Este se puede alimentar de diversas formas. Por un lado se puede alimentar por el puerto USB simplemente conectándolo al ordenador o suministrando 5V. Por otro lado se puede usar el puerto de alimentación. Al usar el puerto para la alimentación se recomienda que la diferencia de tensión este entre 7 y 12V.

Los puertos de alimentación son para alimentar los circuitos la placa de prototipos, breadboard o protoboard:

3.3 V proporciona una tensión de 3,3 V, y una intensidad máxima de 50 mA.

5 V proporciona una tensión de 5 V, y una intensidad máxima de 300 mA.

GND es la toma de tierra, o nivel 0 V de referencia.

Vin proporciona la tensión máxima con la que está alimentado Arduino.



Valores de entrada y de salida: en función de cómo esté siendo utilizado en pin, tendremos:

Salida y entrada digital: los valores de salida pueden ser 0 V (LOW) o 5 V (HIGH), y se interpretará una entrada de entre 0 y 2 V como LOW y de entre 3 y 5 V como HIGH.

Salida analógica: los valores de salida van desde 0 V a 5 V en un rango de 0 a 255 (precisión de 8 bits) valores intermedios.

Entrada analógica: los valores de entrada van desde 0 V a 5 V en un rango de 0 a 1023 (precisión de 10 bits) valores intermedios.

La intensidad máxima de todos estos pines es de 40 mA.

2.1.2 Sensor de humedad

El sensor de humedad nos informará como es evidente, de la humedad relativa contenida en la incubadora, de forma que agregando o no más agua al sustrato de incubación se pueda regular fácilmente. Así como la temperatura tiene que encontrarse en unos valores muy concretos, la humedad puede variar de forma bastante amplia. En general con que la humedad se encuentre entre el 75-90% sería suficiente para una correcta incubación de los huevos de casi todas las especies de reptiles comerciales.

En este caso lo importante es que la humedad sea muy alta pero los huevos no pueden estar mojados, es decir, tienen que estar húmedos, que no empapados. De lo contrario es muy probable que puedan salir hongos sobre los huevos, lo que provoca la muerte del huevo.

DHT11

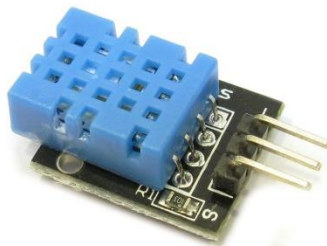


Figura 13 DHT11

El sensor DHT11 (figura 13) es un módulo que nos permite medir la humedad relativa y temperatura ambiental. Este sensor tiene una resolución de 1°C, una precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$ y un rango de trabajo de 0°C a 50°C para la temperatura, y resolución de 1% y un rango de trabajo desde el 20% hasta el 95% de humedad relativa. El sensor trabaja con una tensión de 3.3 V a 5 V.

Este sensor se caracteriza por enviar una señal digital calibrada de forma que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un micro controlador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad).

En el caso del DHT11 que se ve en la figura 13, viene ya preparado en una mini tarjeta de forma que se pueda conectar directamente al Arduino. Si se observa la figura detenidamente se puede ver como las 4 patillas que tiene de serie el DHT11 están acopladas a la tarjeta de forma que al final se reducen a 3 patillas. También se puede ver a la izquierda de la tarjeta la resistencia



necesaria para la medición, que en el caso de tener solo el sensor sin la tarjeta, habría que añadirla en el montaje del mismo.

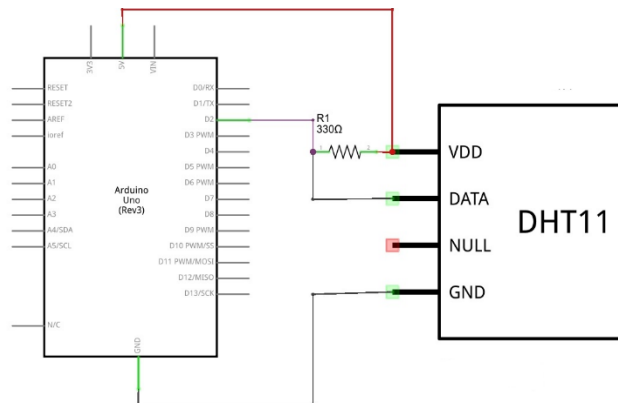


Figura 14 Esquema conexión DHT 11

En el figura 14 se puede ver el esquema de cómo se conectaría el sensor si no lleva acoplado de serie la resistencia que se ha señalado anteriormente.

DHT22

Este sensor es muy similar al DHT11, la diferencia entre este y el anterior es la precisión del mismo, pero tanto el montaje como el principio de funcionamiento es el mismo. De hecho este es un modelo superior al anterior.

Este sensor, a diferencia del anterior tiene una resolución de 0.1°C, una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ y un rango de trabajo de -40°C a 80°C para la temperatura, y resolución de 0.1%, una precisión de $\pm 2\%$ y un rango de trabajo desde el 0% hasta el 100% de humedad relativa. El sensor trabaja también con una tensión de 3.3 V a 5 V puesto que está diseñado para usar con Arduino.

2.1.3 Sensor de temperatura

Este es el encargado de determinar la temperatura interior de la incubadora para después ser comparada con la temperatura objetivo. Después de ser comparada el micro controlador mandará actuar al conjunto de aclimatación según se requiera.

Para la determinación de la temperatura se necesita una precisión elevada, puesto que algunas especies, como se ha comentado anteriormente, necesitan de temperaturas muy específicas para asegurar un sexo, otro o ambos.

En este apartado también se pueden incluir los DHT incluidos en el apartado anterior, puesto que además de la humedad miden temperatura como se ha indicado anteriormente.



Termistor NTC



Figura 15 Termistores NTC

Los termistores son básicamente semiconductores electrónicos los cuales varían su resistencia en función de la temperatura. Por tanto se pueden diferenciar dos tipos básicos de termistores.

El NTC (Negative Temperature Coefficient) es un tipo de termistor cuyo coeficiente de temperatura es negativo. Esto significa que al elevar la temperatura la resistencia ofrecida por el termistor disminuye.

El PTC (Positive Temperature Coefficient) este termistor es similar al anterior, pero esta vez tiene un coeficiente de temperatura positivo, por lo que al aumentar la temperatura aumenta la resistencia.

Estos dos sensores se basan en el mismo principio, la diferencia como se puede apreciar radica en el coeficiente del semiconductor, si es positivo o negativo.

Por tanto el procedimiento de medida de la temperatura pasa por medir la resistencia del termistor y traducir esta a grados centígrados. Esto lo realiza el micro controlador Arduino mediante un programa volcado anteriormente en el que se establece la ecuación que relaciona la resistencia del termistor con la temperatura a medir.

Para márgenes de temperatura reducidos, el valor de la resistencia de una NTC en función de la temperatura puede aproximarse de manera exponencial:

$$R_T = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Donde:

R_T =Resistencia a la temperatura T

R_0 =Resistencia a la temperatura de referencia (25°C)

β =Constante dentro de un intervalo reducido de temperatura propio de cada modelo de termistor

Estos sensores de temperatura son ampliamente usados en termostatos por su gran sensibilidad. A demás debido a su bajo volumen y en consecuencia masa (como se puede ver en la figura 15), la velocidad de respuesta del mismo ante cambios de temperatura es prácticamente inmediata.

Por lo tanto este elemento se adecúa perfectamente a las necesidades de este proyecto.

Más adelante en el apartado 5.2.2 *Programa termistores* se explicará con más detalle la curva del termistor usada para la toma de medidas.

Además dentro de los termistores NTC existen muchos modelos, el elegido se indicará en el apartado 4.4.1.1 *Sensores utilizados*



2.1.4 Interruptores controlados

En este apartado se van a especificar los interruptores controlados que se han tenido en cuenta a la hora de elaborar el proyecto. Solo se explicará brevemente dichos elementos, pues en el apartado 4.3 *Cambio frío/calor* se especificará con mayor detenimiento el montaje y la función de los mismos.

Transistores

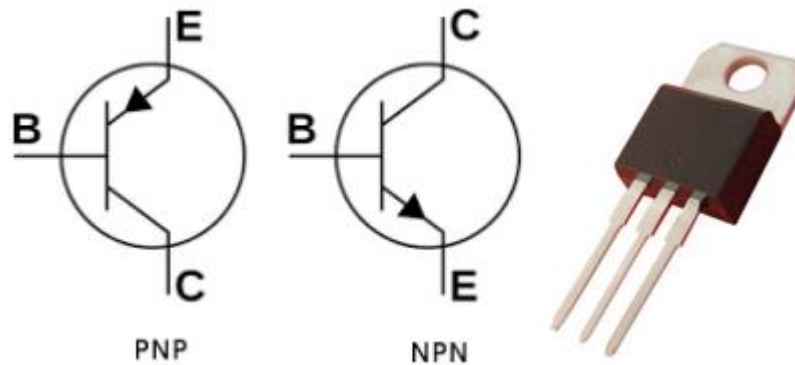


Figura 16 Transistores

Estos son elementos electrónicos semiconductores que son utilizados para producir una señal de salida en respuesta a otra señal de entrada. Por tanto pueden tener función de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.

En este caso se han utilizado transistores rectificadores, tanto NPN como PNP. Estos como se acaba de introducir, en función de la señal que se le aplique por la base (B), se permitirá circular entre E y C en el caso de PNP y entre C y E en el caso de NPN la corriente que corresponda. Se especifica el orden de paso de la corriente porque como se ve en la figura 16, la flecha indica la dirección de la corriente, puesto que en sentido contrario no puede circular dado que en este aspecto funciona de forma muy similar a un diodo.

En este caso se usarán como interruptores controlados, es decir, que o dejan pasar toda la corriente o la cortan en su totalidad en función de la señal dada por el Arduino.

Básicamente lo que se consigue con estos elementos es controlar una potencia elevada con otra mucho menor. En este caso con una corriente mínima dada por el Arduino, se consigue controlar una corriente de hasta 4.5A.



Relé



Figura 17 Relé

Este es un dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica con un valor muy bajo, abre o cierra un circuito secundario con una potencia mucho mayor que la necesaria para estimular el relé.

Por tanto este elemento va a tener la misma función que el elemento anterior, solo que el principio de actuación es diferente. Este se explica más detalladamente en el apartado de 4.3 *cambio calor/frío*

Este como se ve en la figura 17 tiene por un lado 3 pata y 3 conectores. Las 3 patas corresponden 2 a la alimentación del mismo y la tercera corresponde a la pata que detecta la señal dada por el Arduino en este caso.

Los 3 conectores restantes corresponden, el central a la entrada de la corriente a controlar y los otros dos uno está en posición normalmente cerrado y el otro normalmente abierto.

2.1.5 Pulsador



Figura 18 Pulsador

En este caso solo se ha mirado un tipo de pulsador que ha sido diseñado para funcionar con Arduino, por lo que la instalación del mismo se simplifica en gran medida.

En este caso se van a utilizar varios para controlar el termostato, de forma que el Arduino detecta cuando y cual se pulsa, además del tiempo que se encuentra pulsado. Así se consigue cambiar los parámetros del termostato en función de qué pulsador se ha accionado y el tiempo de pulsado.

Más adelante se explicará más detalladamente la función de los pulsadores en el control del Termostato.

Como se ve en la figura, el pulsador tiene 4 patas, pero solo es necesario gobernar 2 patas, la entrada de la corriente y la salida y conectándolo a un puerto digital del Arduino se sabe si esta accionado o no.



2.1.6 Salida visual (LCD 16x2)

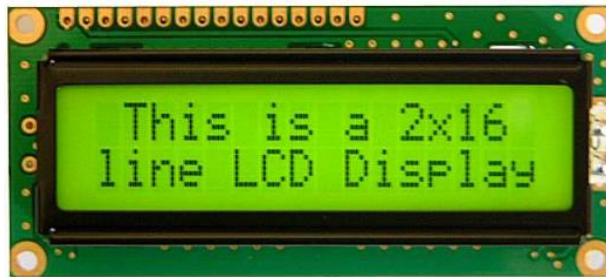


Figura 19 Pantalla LCD 16x2

En este caso también se ha elegido una pantalla diseñada para ser gobernada con Arduino. En este caso se ha usado esta pantalla porque es suficiente para la función que se le va a asignar. Esta tiene 2 líneas para escribir y 16 caracteres por línea, por lo que para sacar temperatura y humedad es suficiente.

Esta pantalla se puede conectar directamente al Arduino, pero tiene una cantidad de entradas y salidas a gobernar muy elevada. En total sería necesario tener conectados 8 puertos del Arduino a la pantalla. Esto supone tener ocupado solo por la pantalla 2 puertos de alimentación (5V y GND) y 6 puertos digitales, además de tener que usar un potenciómetro para regular el contraste de la misma.

El montaje se complica bastante además de tener que cambiar de modelo de Arduino puesto que no tendría puertos digitales suficientes para controlar la pantalla y el resto de sensores y actuadores a controlar.

La pantalla como se acaba de explicar necesita 6 puertos digitales, más adelante se explicará que va a ser necesario otros 3 puertos digitales para controlar 3 relés y otros 3 digitales para otros 3 pulsadores. Teniendo en cuenta que el Arduino UNO tiene 14 puertos digitales y de los cuales 2 son de comunicación, se queda con 12, justos los necesarios hasta el momento. Por tanto no se puede añadir ningún elemento más a un puerto digital y habría que cambiar a un modelo superior de Arduino, como puede ser el Arduino MEGA.

Otra solución es utilizar un elemento que traduce la comunicación entre el controlador y la pantalla, consiguiendo reducir los puertos necesarios para controlarla en 4, 2 de alimentación y 2 analógicos.

Este elemento es el **bus i2c**



Figura 20 Bus i2c mas pantalla LCD



Como se puede ver en la figura 20 este elemento tiene un conjunto entradas y salidas en el lateral. Este, como se puede ver se acoplará a la pantalla de forma que únicamente habría que conectar las 4 entradas que quedan libres en el extremo del Bus.

Además el contraste de la pantalla, de esta forma, se controla con el tornillo de cabeza de estrella que se puede ver en la figura, en el centro del cuadrado azul del Bus i2c. Por tanto se simplifica en gran medida el montaje del mismo.



3. Caja contenedora

La caja contenedora es una parte fundamental del proyecto. Esta será la barrera física que separe la atmósfera exterior de la caliente y húmeda del interior de la incubadora. De esta forma, cuanto mayor sea la capacidad aislante, en menor medida será necesario usar el sistema de aclimatación. Esto se traduce en un menor consumo de energía y en una temperatura más estable en el interior.

Lo primero es determinar las medidas de la caja. Estas medidas se han elegido teniendo en cuenta las medidas de las dos incubadoras ya explicadas en el apartado 1.2 Antecedentes. En este caso se ha decidido que la forma de la caja sea más horizontal que vertical.

Esta incubadora se va a diseñar horizontalmente para evitar la aparición de estratificación térmica. De esta forma al no tener una altura elevada se dificulta la aparición de estratos a diferentes temperaturas. Hay que tener muy en cuenta la estratificación, pues puede que los huevos a incubar no se encuentren a la misma altura que el sensor, por lo que estos no se encontrarán a la temperatura objetivo indicada.

Teóricamente, la estratificación es difícil que sea tan acusada como para que afecte a los huevos, pero por prevención, diseñando la caja de forma horizontal se evita cualquier tipo de posible problema en el futuro.

En consecuencia las medidas para el diseño de esta incubadora se han referenciado de la incubadora **rcom MX-R60**.

Las medidas **interiores** serán por tanto:

350 mm de largo

250 mm de ancho

200 mm de altura

Con estas medidas tenemos un volumen de aire dentro de 17.5 l y espacio suficiente como para poner una puesta de huevos entera de cualquier especie de las anteriormente descritas y de otras muchas que no se incluyen.

Una vez se saben las medidas de diseño se procede a elegir la posición del acceso a la misma, es decir la posición de la tapa.

Para la elección de su posición se han tenido en cuenta las siguientes opciones:

- La primera opción sería con la tapa en uno de los laterales para evitarla pérdida de calor. Esto sucede porque el aire caliente tiende a subir por tener menor densidad, por lo que si se coloca la tapa en la parte superior, al abrirla, por convección se va a perder una cantidad de energía importante.
El problema de poner la tapa en un lateral es que no se tiene una buena visión de los huevos, y si se querría manipularlos, cambiar la bandeja de la humedad o cualquier cosa, siempre es más complicado hacerlo en horizontal que en vertical.



- La segunda opción sería poner la tapa en la parte superior.

En esta opción sí que se pierde más temperatura pero el manejo del interior es mucho más sencillo. Además, al estar la tapa en la parte superior, la visión de los huevos es nítida y completa.

Teniendo en cuenta que por un descenso momentáneo del calor, los huevos no sufren apenas estrés, pero, por un golpe, un volteo o por un mal manejo de los mismos puede ser fatal para el feto, se ha decidido lo siguiente:

La tapa se va a colocar en la parte superior de la incubadora puesto que se valora más el manejo y la buena visualización de los mismos que una pérdida momentánea de calor.

3.1 Diseño caja

La caja pues, teniendo en cuenta que el material que se va a usar tiene un espesor de 30mm como se explica en el siguiente apartado, tiene unas medidas exteriores que quedarían de la siguiente forma.

410 mm de largo

310 mm de ancho

230 mm de altura

3.1.1 Aplicación prototipo

En este apartado se va a describir en proceso de construcción de la caja contenedora para el prototipo.

Teniendo las medidas establecidas solo queda cortar las piezas necesarias y juntarlas.

En este caso se van a tener 3 tipos de piezas diferentes.

2x laterales → 250x230 mm

2x frontales → 410x230mm

1x base → 350x250mm

Para el corte del material se ha utilizado un cúter ancho. No es la herramienta más adecuada para el corte de este material, pero no se disponía de herramientas más cualificadas.

Debido a las limitaciones que supone el cortar con cúter, las piezas no tienen en la zona de corte la calidad suficiente para que asiente bien a la hora de juntarlas.

Para la unión de las piezas se ha decidido usar tirafondos en vez de pegamento. Como se ha indicado, el corte no es regular y por lo tanto el pegamento no puede hacer correctamente su trabajo. Además, teniendo en cuenta que se está diseñando un prototipo, el uso de tirafondos supone que en un momento dado se pueda desarmar la caja y modificar piezas.

Para el montaje se han utilizado 18 tirafondos de 6x60mm



Se pudo comprobar que las juntas de la caja prototipo no estaban bien selladas, por lo que se aplicó unos cordones con espuma de poliuretano a lo largo de todas las juntas.

Esta espuma es muy utilizada en la construcción para tapar agujeros y/o para aislar térmicamente. Por lo tanto es la solución ideal para sellar las juntas de forma definitiva.

Posteriormente se descubrió que la espuma no había penetrado correctamente por todas las juntas, por lo que la caja no es completamente estanca. A pesar de ello, como se podrá ver en el siguiente apartado, se ha conseguido un aislamiento térmico aceptable.

Esta forma de montaje, solo se aplica en el prototipo. En una producción industrial lo correcto sería encargar a una empresa externa que diseñe cajas de poliéster de una pieza, como pueden ser los contenedores térmicos que se usan para el transporte de determinados productos que tienen que estar a una temperatura en concreto, bien sea una temperatura alta o baja.

3.2 Aislante prototipo

Para la realización de pruebas de aislamiento térmico y funcionamiento del sistema frío/calor se ha utilizado como aislante, planchas de poliestireno extruido de 30 mm de espesor.

A continuación se pueden ver las características técnicas obtenidas de la página web de Leroy Merlin

Cuadro 2 Propiedades Poliéstireno extruido

Fuego	Euroclase	E	--	UNE-EN 13501
Aislamiento	Lambda ($\lambda_{90/90}$)	0,034	W/m K	UNE-EN 12667/12939
Térmico	Resistencia térmica (R_D)	0,90 (30 mm)	m ² K/W	UNE-EN 12667/12939
		1,20 (40 mm)		
		1,50 (50 mm)		
Tolerancias	Tolerancias en espesor (Δd)	+2 ; -2	% ; mm	UNE-EN 823
	Escuadrado (S_D)	5	mm/m	UNE-EN 824
	Planimetría (S_{max})	14	mm	UNE-EN 825
Estabilidad	Estabilidad dimensional (70°C y 90%) ($\Delta \epsilon$)	≤ 5	%	UNE-EN 1604
	Deformación bajo carga y temperatura ($\Delta \epsilon$) (70 °C, 168 h, 40 kPa)	≤ 5	%	UNE-EN 1605
Comportamiento mecánico	Tracción perpendicular a las caras (σ_{mt})	> 100	kPa	UNE-EN 1607
	Resistencia a compresión (σ_m)	≥ 250	kPa	UNE-EN 826
	Fluencia de compresión (σ_c) 2% a 50 años	125	kPa	UNE-EN 1606
Comportamiento ante el agua	Absorción agua inmersión total (W_p)	$\leq 0,7$	kg/m ²	UNE-EN 12087
	Absorción agua por difusión (W_d)	--		
Comportamiento ante el hielo	Resistencia hielo-deshielo ($\Delta \sigma_{10}$)	--		
	Resistencia hielo-deshielo ($\Delta \sigma_p$)	--		

Este como se puede comprobar, es un material que tiene una capacidad aislante elevada, además de tener una resistencia mecánica bastante buena, por lo que es resistente ante la manipulación.

Para entender más fácilmente la capacidad aislante, este material tiene una λ de 0.034W/mK. Esta representa la conductividad térmica del material, es decir, la facilidad que da el material a la energía térmica para ser conducida. Como se puede ver la conductividad es muy baja, lo que significa que la resistencia al paso del calor es muy grande.

Para comparar con diferentes materiales:



Cuadro 3 Conductividad térmica materiales (Fuente: wikipedia)

Conductividad térmica de varios materiales					
Material	λ	Material	λ	Material	λ
Acero	47-58	Corcho	0,03-0,04	Mercurio	83,7
Agua	0,58	Estaño	64	Mica	0,35
Aire	0,02	Fibra de vidrio	0,03-0,07	Níquel	52,3
Alcohol	0,16	Glicerina	0,29	Oro	308,2
Alpaca	29,1	Hierro	80,2	Parafina	0,21
Aluminio	237	Ladrillo	0,8	Plata	406,1-418,7
Amianto	0,04	Ladrillo refractario	0,47-1,05	Plomo	35
Bronce	116-186	Latón	81-116	Vidrio	0,6-1,0
Zinc	106-140	Litio	301,2	Cobre	372,1-385,2
Madera	0,13	Tierra húmeda	0,8	Diamante	2300
Titanio	21,9				

Todos los materiales del cuadro son muy frecuentes en construcción tanto de edificios como de maquinaria, y como se puede ver, ninguno tiene una conductividad térmica inferior a 0.034W/mK exceptuando el aire, por lo que se infiere que tiene una resistencia térmica ideal para este proyecto.

Además tiene muy poca capacidad de absorción de agua, tanto es así, que según el cuadro anterior, si se sumerge un metro cuadrado de este material solo absorbería como máximo 0.7 kg de agua, lo que equivaldría a 0.7 l. Por tanto es ideal para aguantar la humedad que va a albergar en su interior.

Por otro lado este material no es sustrato para microorganismos, es decir que por ejemplo no puede enmohecer. Este material gracias a esta propiedad se usa actualmente para transportar el pescado metido en cajas de poliespan rellenas de hielo bandejas y cajas de carne, cajas y bandejas para vegetales....

La única diferencia es que ese poliespan es expandido, es decir con menor densidad y el elgido como aislante en este proyecto es extruido o de alta densidad. Esto le proporciona mejores propiedades mecánicas y dado que este material va realizar la función de aislante y soporte a su vez, es un punto muy importante a tener en cuenta.

3.2.1 Prueba de pérdidas de calor

Para testar la calidad de aislamiento de la caja prototipada se ha realizado una prueba de pérdidas de calor.



En esta prueba, la incubadora esta tapada con un panel de poliestireno extruido también de 30mm únicamente apoyado sobre la caja contenedora y con peso encima para que asiente y no sea punto de fuga.

En este caso se coloca en su interior un tupper con substrato húmedo como estarían los huevos en un caso real y se calienta por completo a 33.8 grados y se deja de aplicar calor.

Se han ido realizando mediciones cada 2.5s y el resultado es el siguiente.

Cuadro 4 Resultados prueba pérdidas de calor

Tª inicial (°C)	Tª ambiente (°C)	Tª final (°C)	Tiempo (s)
33,80	20,50	23,36	9840

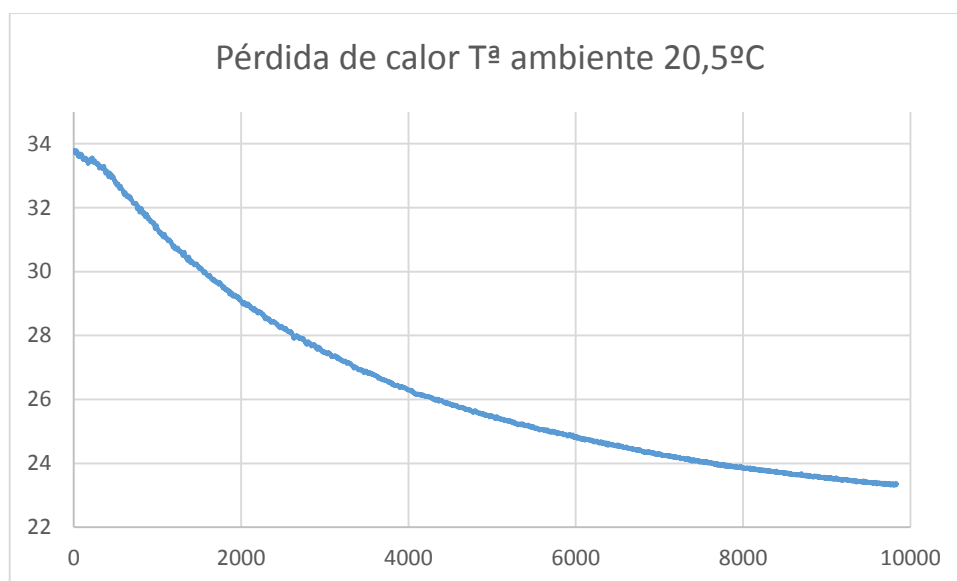


Figura 21 Resultados de pérdida de calor a 20,5°C de Tª ambiente

Como se puede ver de los 32º hasta los 25º (rango en el que se encuentran casi todas las especies de reptiles) tardaría unos 5000 segundos lo que supone aproximada mente hora y media. Esto significa que si se pone la temperatura objetivo a 28º prácticamente solo se activaría el conjunto de climatización 1 vez por hora, lo que supone una frecuencia de activación más que razonable.

3.3 Diseño de tapa

Para el diseño de la tapa hay que tener en cuenta que se le va a poner una “ventana” para poder observar el interior de la incubadora a placer. Por lo tanto la tapa va a constar de un marco para el acoplamiento a la caja y una ventana central para ver el interior de la incubadora desde la parte superior de la misma.

El material usado para la construcción de la parte transparente de la tapa ha sido el metacrilato. Se ha usado este material porque es relativamente barato, es difícil de romper ante un golpe y tiene propiedades térmicas muy buenas. En este caso su conductividad térmica es de 0.19



W/mK, es mayor que el del poliestireno, pero a pesar de ello sigue siendo una buena conductividad para este caso.

El problema es que a pesar de tener unas propiedades térmicas buenas, el grosor del metacrilato no puede ser muy grande puesto que esto aumentaría el precio, peso... Para tener una ventana económicamente accesible y con buenas propiedades térmicas, se ha decidido realizar un panel sándwich con 2 metacrilatos, dejando entre ambas una cámara de aire que aislará perfectamente la tapa.

Si se mira el cuadro anterior se puede ver que el aire tiene una conductividad de 0.02 W/mK por lo que al dejar la cámara de aire intermedia en el sándwich usado para ventana, se aumenta considerablemente las propiedades térmicas de la ventana.

Este principio se usa ampliamente en el diseño de ventanas para edificios en los que se quiere mejorar su eficiencia energética. En ese caso las ventanas suelen estar constituidas por 2 paneles de vidrio o cristal con una cámara de aire en el intermedio de ambas. Otros modelos más avanzados introducen gases con menor conductividad térmica que el aire o se realiza el vacío en el interior debido a su baja conductividad térmica.

Por ello se ha utilizado un sistema similar.

Para el acople del marco de la tapa al resto de la incubadora se puede realizar básicamente de 2 formas.

La primera forma es que el solapamiento de la tapa con la caja contenedora quede por el interior de la misma

La segunda forma es que el solapamiento quede por el exterior de la caja contenedora.

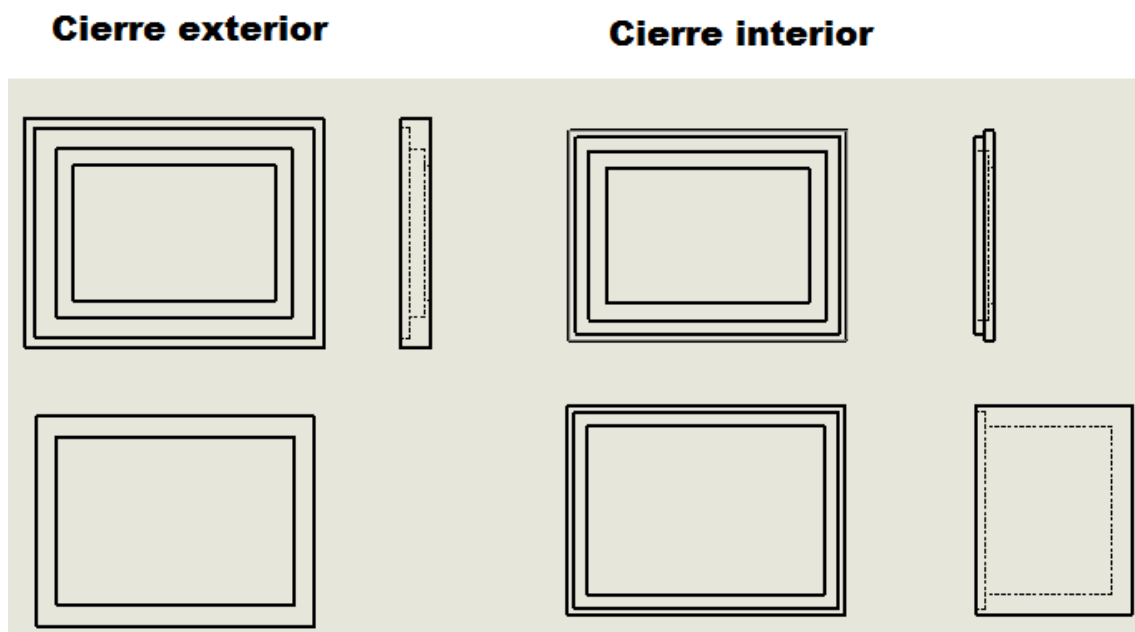


Figura 22 Diseño de tapa y caja contenedora



En esta figura (figura 22) se pueden ver los dos modelos de caja y tapa que se han diseñado. Posteriormente se explicara cual se ha elegido y por qué.

Como se ha explicado anteriormente se va a usar metacrilato, a pesar de eso se han mirado presupuestos para poner una ventana con doble acristalamiento. El problema es que estos cristales tienen medidas estándar que pueden ser asequibles económicamente, pero en cuanto se varía la geometría el precio asciende de forma exponencial. Por lo tanto se ha decidido realizar el prototipo con metacrilato.

3.3.1 Ventana de la tapa

Para construir la tapa del prototipo hay que decir que se ha realizado de manera casera con todas las limitaciones que ello implica.

Lo primero se prepara el “doble acristalamiento casero”. Para ello se han utilizado 2 planchas de metacrilato de 3mm de espesor y con unas medidas de 240x340. Las medidas perimetrales son un poco menores que el hueco realizado en el marco de la tapa para que esta encaje sin problemas.

Las planchas de metacrilato han sido cortadas con una caladora con una sierra para madera, por lo que el acabado no es el ideal pero es aceptable.

Para dejar una cámara de aire entre las dos planchas de metacrilato se van a usar unas arandelas en las esquinas donde se atornillarán sí.

Por tanto se van a poner 5 arandelas por esquina, teniendo estas un grosor de 1.2mm. Por tanto el panel va a tener 3mm de metacrilato + 6mm de aire + 3mm de metacrilato, lo que hace un total de un acristalamiento de 12mm.

Los 4 tornillos que se van a usar para sujetar las 2 piezas de metacrilato tienen unas medidas de 15x4mm con sus correspondientes tuercas

Para aislar la cámara de aire se ha aplicado espuma de poliuretano por todo el borde perimetral.

Esta espuma como se ha comentado anteriormente es muy usada en construcción por sus propiedades como aislante y por su capacidad para rellenar huecos puesto que una vez aplicado se expanda más del 50% de su volumen inicial.

Por tanto se aplica por el borde del acristalamiento un volumen suficiente de espuma. Al expandirse esta rellenará los posibles huecos que puedan haber quedado en la aplicación de la misma.

No obstante la espuma se seca desde su superficie a su interior. Por ello, el metacrilato en la parte media de los laterales cede ante la presión de la espuma y engrosa más en el centro de la tapa por no tener la resistencia de los tornillos que sujetan los metacrilatos entre sí.

3.3.2 Marco de la tapa

Para diseñar el marco de la tapa tenemos que tener en cuenta los dos casos explicados anteriormente.

Como elección de diseño, la mejor opción es la del solapamiento interior.



De esta forma la incubadora en sí es más compacta, pero a la hora de realizar el prototipo, debido a las dificultades por no tener herramientas cualificadas se ha decidido hacer el solapamiento exterior, por facilitar la construcción.

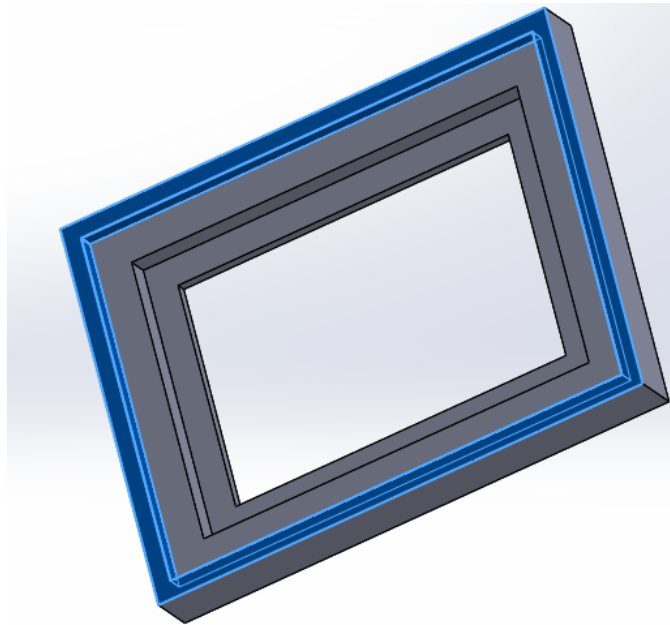


Figura 23 Tapa cierre exterior

En esta figura (figura 23) se puede ver el diseño de la tapa. Las medidas concretas se encuentran en el *Anejo1 Planos*

La parte de color gris se ha moldeado a partir de un trozo de poliestireno extruido de 30mm y la ayuda de un cúter. Esta no es la herramienta más adecuada para este trabajo, puesto que este material ofrece mucha resistencia al corte en frío. Este material se suele trabajar con cortes en caliente con un hilo, o directamente hacer un molde con la forma de la tapa y extruir el poliestireno con dicha forma.

Como se puede ver se ha dejado el hueco donde tiene que asentarse la ventana y debido a la herramienta usada para rebajar dicho hueco, no se ha podido dejar una superficie plana y regular en la que asiente bien el conjunto de metacrilato y cámara de aire.

Por ello se usará espuma de poliuretano para rellenar esos posibles huecos que pueden quedar entre el marco y la ventana y hacer que esta asiente bien en el marco. Además esta espuma va a servir como adhesivo para fijar el uno con el otro.

La pestaña que queda en el exterior de la caja contenedora y que sujetará la tapa es la parte señalada de color azul en la figura. Este se ha construido con listones de madera de 15x15mm y sujetos con tirafondos al resto del marco.



4. Hardware

En este apartado se explicará el diseño de, tanto el sistema de aclimatación, como el diseño y construcción del termostato, como las conexiones y elementos necesarios para la ejecución de todos los circuitos usados para este proyecto.

4.1 Elección del sistema de aclimatación de temperatura

Uno de los fines de la incubadora es que pueda regular tanto una temperatura elevada (alrededor de 32º) como una temperatura baja (alrededor de 12º).

Por tanto es necesario un sistema de aclimatación que por un lado caliente y por otro lado enfríe.

Dado que es una incubadora diseñada para el pequeño usuarios, tiene que ser económicamente viable además de ser lo más silenciosa posible para evitar molestias, es decir, que no sea ruidoso y a poder ser que tenga la mayor eficiencia posible para que no tenga un consumo excesivo de corriente eléctrica.

Se han establecido como posibles sistemas de aclimatación:

- Bomba de calor
- Placa Pletier

4.1.1 Bomba de calor

Este sistema tiene la capacidad de calentar una zona del circuito y enfriar la otra. Es el sistema más utilizado para aclimatar desde por ejemplo una piscina cubierta hasta para aclimatar el frigorífico. En las casas particulares es utilizado habitualmente como sistema de refrigeración en verano, y cada vez más se están utilizando bombas de calor reversibles, es decir que en verano lo usan como sistema de refrigeración y en invierno como sistema de calefacción.

Hay estudios que indican que el uso de estas bombas de calor como sistemas de calefacción hace ahorrar en la factura final en comparación con la calefacción de gas, puesto que este sistema es más eficiente que la calefacción convencional.

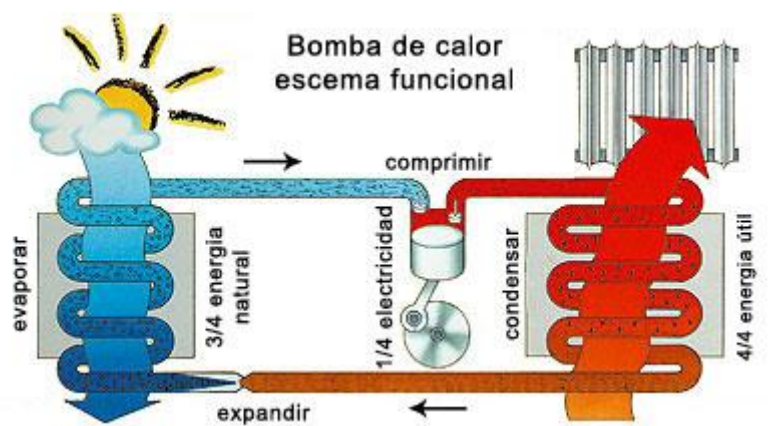


Figura 24 Función bomba calor (Fuente <http://www.f2e.es/>)

En esta figura 24 se puede ver de forma simplificada el sistema de la bomba de calor.

El funcionamiento de esta se basa en la compresión y expansión de un fluido el cual al comprimirse eleva considerablemente su temperatura y al expandirse se enfría, por lo que



tendremos en el lado frío, la parte del fluido a baja presión, y en el lado caliente el resto del fluido a alta presión.

Este sistema tiene una alta eficiencia en cuanto a energía eléctrica consumida para generar el proceso.

La desventaja más importante es que actualmente no hay equipos de bombas de calor pequeñas para en este caso, una incubadora. Además es un sistema que para pequeños espacios resulta económicamente inviable y su instalación se complica en gran medida.

Por otro lado es un sistema que genera vibraciones que se traducen en ruidos que pueden llegar a molestar al usuario final. Estas vibraciones son generadas por el compresor en gran medida, por lo que es una desventaja a tener muy en cuenta.

4.1.2 Placas Peltier

Estas placas se basan, como su propio nombre indica, en el efecto Peltier (figura 25).

Este efecto consiste en hacer pasar una corriente entre dos conductores unidos entre sí por una serie de semiconductores de forma que uno de los conductores comienza a absorber calor mientras que el otro la va desprendiendo. Sería como una especie de bomba que hace circular el calor de un lado de la placa al otro lado de la misma. Esto genera una diferencia de temperatura entre las dos caras, que si se llega a controlar se puede utilizar este sistema como calefacción o como refrigeración según se desee.

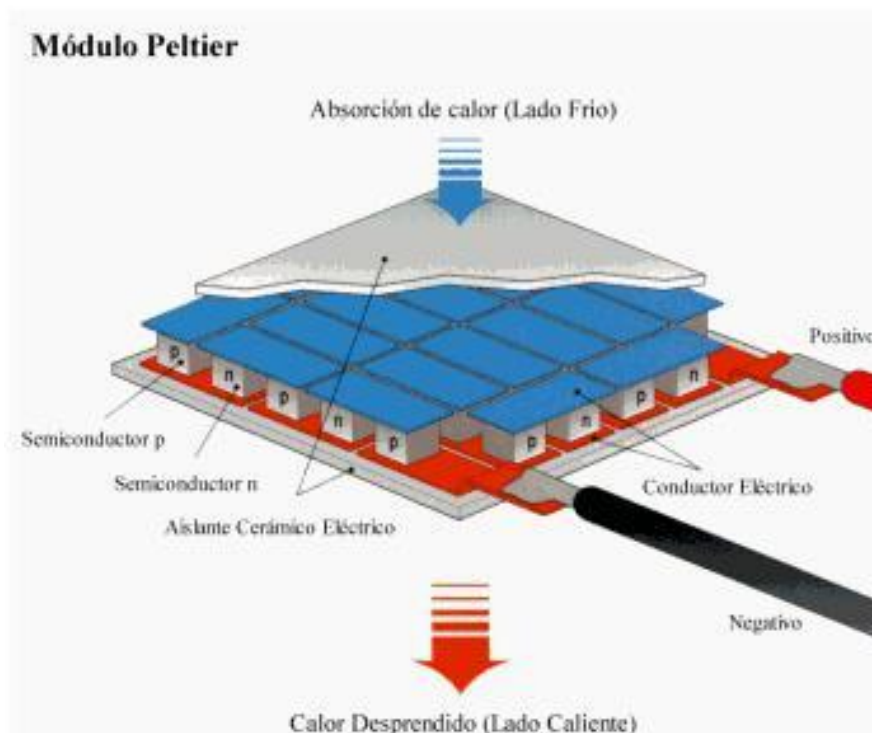


Figura 25 Funcionamiento módulo Peltier (Fuente www.mundodigital.net)

La mayor ventaja que tiene este sistema es que cambiando la polaridad a la que se conectan los bornes se hace cambiar la dirección en la que circula la corriente y por lo tanto el efecto se



invierte, la cara que anteriormente absorbía el calor ahora lo desprende, y la que anteriormente lo desprendía ahora lo absorbe.

De esta forma con un simple cambio en la polaridad lo que antes era un sistema calefactor se convierte en un sistema refrigerador.

Estas placas tienen la ventaja además que son muy baratas, el problema es que hay que instalarla con un disipador en cada cara (en la caliente para que no se caliente en exceso y en la fría para que absorba el mayor calor posible para una correcta refrigeración) y para que funcionen correctamente hay que instalar un ventilador a cada lado también para que los disipadores sean más efectivos.

En cuanto al ruido, si la temperatura no se excede, los ventiladores no deberían ir a mucha velocidad, por lo que el ruido se reduce considerablemente.

Lo malo de este sistema es que es poco eficiente, pero como para enfriar o calentar un volumen tan pequeño no se van a necesitar grandes cantidades de energía, no tiene una excesiva importancia.

4.1.3 Elección

Cuadro 5 Elección sistema aclimatación

	Bomba de calor	Placa Peltier	Peso
Coste	2	8	25%
Eficiencia	8	5	5%
Ruido	6	7	10%
Cumple función	9	10	50%
Complejidad	7	10	10%
Total	6,7	8,95	

Como aspectos a valorar como se pueden ver en el cuadro 5 van a ser el coste de los mismos, la eficiencia, el ruido, si cumplen la función y la complejidad del mismo.

En cuanto a coste no es ni comparativo el coste de una placa Peltier con el coste de una bomba de calor, de ahí que esta sea la mayor diferencia entre ambas opciones. En el caso de la placa Peltier incluso contando con los disipadores y los ventiladores sigue siendo un producto muy barato. Más adelante se introducen los datos de costes.

En cuanto al ruido hay que tener en cuenta que en la bomba de calor lo ideal sería ponerle ventilador por lo menos en el interior de la incubadora para que refrigere o caliente lo mejor posible el ambiente del interior, por lo que el ruido que pueden generar los ventiladores de la placa Peltier también lo tendrá el de la bomba de calor, con el aliciente que este también tiene un compresor generando ruido.



De cualquier forma ninguno de los dos sistemas es excesivamente molesto en cuanto a ruido se refiere.

La complejidad de un sistema respecto al otro no tienen ni punto de comparación. La placa Peltier es un sistema que solo requiere de dos disipadores con sus respectivos ventiladores. Por el contrario la bomba de calor necesita muchos más elementos y su montaje es relativamente complejo.

De esta forma se justifican las valoraciones que se recogen en el cuadro anterior. La puntuación es ascendente, es decir, que el 10 la nota máxima y el 1 es la nota mínima.

El peso de cada apartado se indica en el cuadro en porcentajes. Como se puede ver en el cuadro el apartado que mayor peso tiene es el de que cumpla la función de poder enfriar o calentar según convenga. Por otro lado la que menor peso tiene es el de eficiencia, puesto que la incubadora no va a tener un consumo tan alto como para que este sea un punto crucial a la hora de elegir el mejor sistema para este proyecto.

4.2 Conjunto sistema de aclimatación

El primer paso que hay que seguir es la elección de una placa Peltier y los sistemas de disipación pertinentes para un correcto funcionamiento del sistema.

Teniendo en cuenta que esta placa funciona como una bomba que mueve el flujo de calor de un lado al otro, es necesario que por lo menos en el lado que va a expulsar el calor “bombeado” se le coloque un sistema de disipación, puesto que cuanto más baja sea la temperatura del lado caliente, más baja podrá ser la temperatura del lado frío.

Lo que se está intentando hacer pues con el disipador es que la placa transmita el calor lo más rápidamente posible al ambiente para que pueda seguir bombeando más calor. Además esto hace que el lado caliente no sobrepase su temperatura de funcionamiento, puesto que si se instala sin disipador, el lado caliente en cuestión de segundos aumenta mucho su temperatura afectando por conducción al lado frío y pudiendo llegar a quemar la placa.

4.2.1 Elección de la placa Peltier

Existen muchos modelos de placas Peltier. Para este proyecto se va a usar una placa de potencia media puesto que el volumen de la incubadora es bastante grande en comparación con la placa.

En cuanto a lo que calentar se refiere, con usar una de potencia baja sería suficiente, dado que el lado caliente de la placa se calienta con mucha facilidad, el problema está en el momento en el que quiere refrigerar.

Cuanta más potencia tenga la placa, mayor capacidad tendrá de refrigerar el lado frío si se realiza una correcta disipación del calor del lado caliente.

Por ello el modelo que se va a usar es:

TEC1-12706 → 14Vmax y 6.6Amax



Figura 26 TEC1-12706

Este modelo conectado a 12 V y usando 4.5A de corriente tiene una delta de 50.

Esto significa que si conseguimos que el lado caliente se mantenga a 40º el lado frío se encuentre a -10ºC dado que la delta lo que seta señalando es la diferencia de temperatura máxima que se puede conseguir entre las dos caras de la placa.

4.2.2 Elección de sistema de disipadores

Teniendo en cuenta que el sistema en ocasiones va a tener que funcionar como calefactor y otras como refrigerador, es decir que al cambiar la polaridad, en según qué circunstancias los dos lados tiene que estar preparados para calentar y enfriar. Por tanto hay que instalar un disipador en cada lado.

4.2.2.1 Disipador exterior

Como se ha comentado antes, el disipador tiene como función disipar el calor del lado caliente para que el lado frío pueda estar a baja temperatura y para que la placa no se pueda quemar por sobrecalentamiento.

Por tanto el disipador externo tiene que ser el encargado de disipar el calor que sale de la incubadora para poder seguir extrayendo el calor del interior y poder refrigerarla correctamente.

Por tanto este tiene que ser un disipador bastante grande.

Tras varias pruebas con diferentes disipadores y disipadores con ventiladores y teniendo en cuenta la cantidad de disipadores que hay en el mercado se ha optado por usar un disipador de CPU para procesador.

Las ventajas que tiene es que viene ya con un ventilador silencioso acoplado y el tamaño es perfecto para una correcta disipación del calor.

Tras realizar alguna prueba con el disipador se ha podido ver que los resultados son los esperados.

La prueba consistió en probar la placa Peltier con dicho disipador. Entonces se pudo comprobar que era tal la potencia de la placa que añadiendo gotas de agua sobre la superficie fría, se congelaban en cuestión de 5-10s.

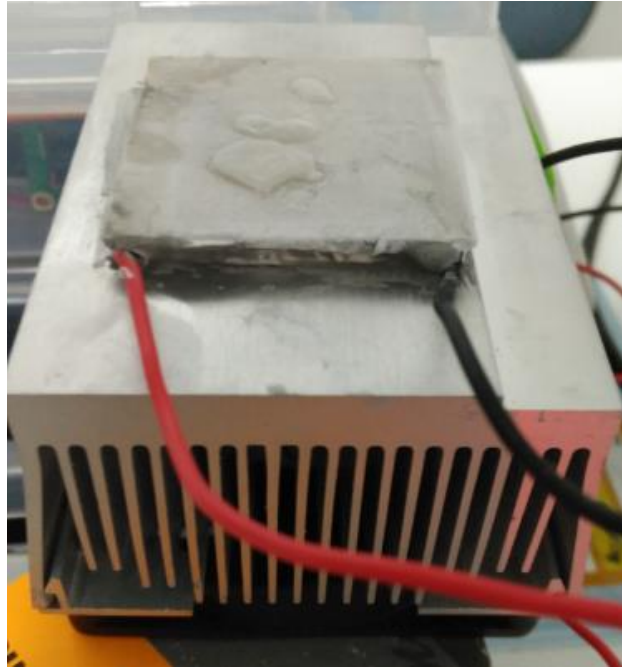


Figura 27 Prueba de frío placa Peltier

En la figura 27 se puede ver como el lado caliente estaría pegado con el disipador, y aunque no se aprecia bien, en el extremo del disipador hay un ventilador acoplado. El lado frío, se puede ver claramente cómo se encuentra congelado, que era el objetivo que se pretendía alcanzar con la prueba.

Este era el objetivo porque si se quiere refrigerar la incubadora de forma rápida y efectiva el lado frío (de la placa no del disipador) debería encontrarse en temperaturas bajo cero.

La siguiente prueba que se ha realizado se comentará más adelante, pues esta prueba consiste en comprobar la temperatura mínima que es capaz de generar el conjunto en el interior de la incubadora.

4.2.2.2 *Disipador interior*

En el interior de la incubadora es necesario poner un disipador para evitar el sobrecalentamiento de la placa Peltier en el modo de calentamiento de la misma y para tratar de enfriar más rápido el cubículo en el modo refrigeración.

Para la elección del disipador interior se han tenido en cuenta 2 modelos de disipadores diferentes.

4.2.2.2.1 *Primera prueba disipador interior*

El primer disipador que se utilizó fue un disipador de CPU pero en este caso de la gráfica, por lo que este es más pequeño y no lleva acoplado un ventilador.



Figura 28 Disipador gráfica CPU y ventilador 40x40mm

En la figura 28 se puede ver el disipador usado. El problema es que la placa Peltier al calentarse el lado en el que se colocará dicho disipador sube excesivamente de temperatura, por lo que se decidió diseñar un sistema para acoplar un ventilador de 40x40 (medidas tanto del disipador como de la placa Peltier) que se puede ver en esta figura.

Para este montaje se tuvieron que diseñar 3 piezas diferentes.

La primera sería la encargada de sujetar el ventilador al disipador interior.

La segunda tendrá como función separar los dos disipadores y acoger la placa Peltier en su interior.

La tercera será la encargada de sujetar el disipador exterior al conjunto.

Primera pieza

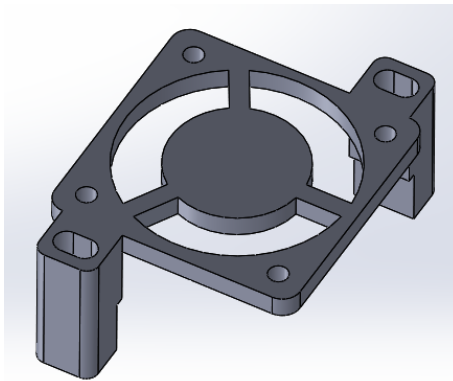


Figura 29 Pieza para ventilador y disipador interno

Como se puede ver esta pieza (figura 29) se acopla al ventilador con los 4 agujeros que este tiene de serie y se ajusta a la perfección al diseño del ventilador.

Además tiene 2 patillas que descienden hasta la segunda pieza diseñada. Esta será la encargada de sujetar el ventilador al disipador y al conjunto mediante 2 tornillos que harán la función de mordaza. Las medidas concretas se encuentran en el *Anejo 1 Planos*.



Segunda pieza

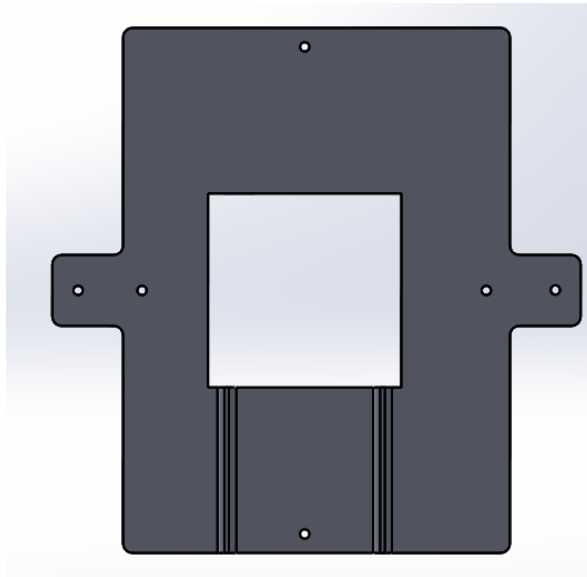


Figura 30 Entredisipadores

Esta segunda pieza denominada entredisipadores como se ha dicho tendrá la función de separar los 2 disipadores y de contener el conjunto completo.

Como se ve en la figura 30 esa pieza no corresponde con la figura 32 puesto que en un primer momento solo se usó para soporte del conjunto, pero más adelante se tuvo que modificar para aislar los dos disipadores de forma que no se transmitan calor de uno a otro.

Además en esta figura se pueden ver 4 agujeros con los que se acoplará a la incubadora. Esto se explicará más adelante. El plano de esta pieza se puede ver en el *Anejo1 Planos*.

Tercera pieza

Esta es un palier como se ve en la figura 31, el cual amordazará mediante 2 tornillos el disipador exterior con el conjunto atornillándolos a la segunda pieza o entredisipadores.



Figura 31 Palier



4.2.2.2.2 Conjunto completo

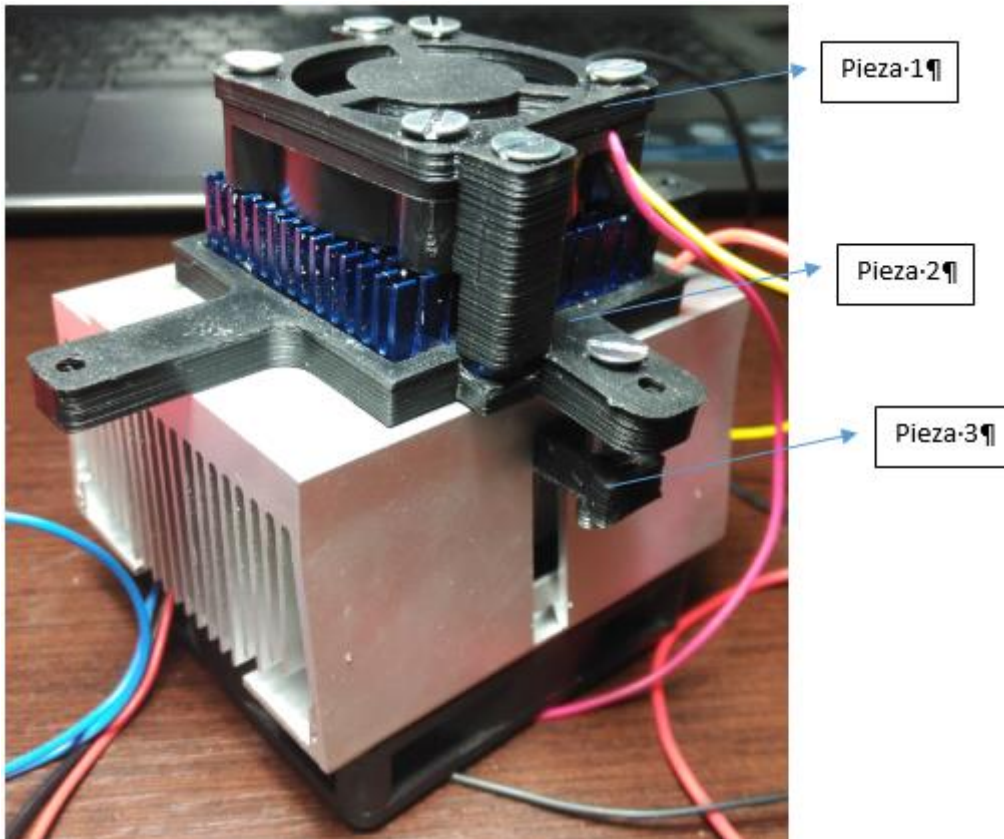


Figura 32 Conjunto completo disipador interno deshechado

En esta figura (figura 32) se pueden ver perfectamente las 3 piezas con el conjunto completo.

La placa Peltier se encontraría dentro del marco de la pieza 2 o entredisipadores haciendo contacto con ambos.

La sujeción se ha realizado gracias a:

1. Unión de pieza 1 a ventilador → 4 tornillos de 12x4
2. Unión pieza 1 a entredisipadores → 2 tornillos 30x4
3. Unión pieza 3 a entredisipadores → 2 tornillos de 20x4

El problema de este conjunto es que la pieza 1 al estar amordazada al disipador interior produce ruidos y en si el conjunto completo es bastante voluminoso.

Por ello se buscó un disipador con ventilador incorporado.



4.2.2.3 Segunda prueba



Figura 33 Disipador más ventilador interno

Para la segunda prueba se ha elegido un disipador también de CPU para gráfica, pero esta vez lleva acoplado de forma muy compacta un ventilador como se ve en la figura 33.

Como se puede ver en la figura el disipador con el ventilador incluido es mucho menos voluminoso que el anterior y como ventaja además nos evitamos la pieza 1.

Por tanto el nuevo conjunto solo contará con el entredisipador y el palier del disipador exterior.

4.2.3 Conjunto final

En la siguiente figura se puede ver el conjunto completo. Este se colocará con el entredisipador y el disipador y ventilador interiores, como su nombre indica, en el interior de la caja contenedora, dejando el disipador exterior y su ventilador, parte en el interior de la pared de la caja (dado que este elemento es el que atraviesa la pared) y parte en el exterior por donde disipará el calor de la placa en el caso de enfriar el interior.

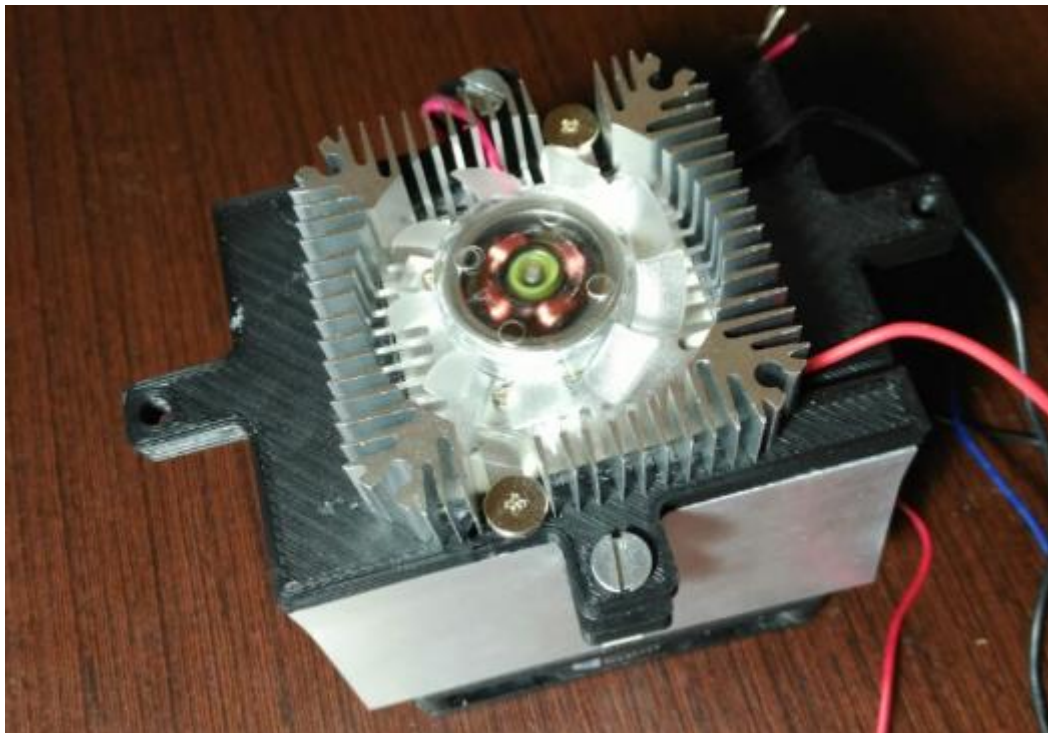


Figura 34 Conjunto final



Posteriormente se tuvo que cambiar el entredisipador por problemas tanto de construcción de la caja contenedora como por problemas por la geometría del disipador usado para el exterior.

En esta figura (figura 34) se ve como el entredisipadore abarca de forma completa el disipador exterior, pero a la hora de introducirlo en la caja se quedaban fugas en el perímetro del mismo, por lo que se decidió hacer un entredisipador más grande. Las medidas se corresponden con las expuestas en el *Anejo1 Planos* en el plano de entredisipador en el que se le da un perímetro mayor para evitar dichas fugas.

Por tanto en resumen este conjunto va a constar de 2 disipadores 2 ventiladores la placa Peltier, 2 piezas imprimidas con una impresora 3D en plástico PLA, 2 tornillos de 20x4 para el entredisipador y el palier y otros 2 tornillos de 7x2.5 para fijar el disipador interior al entredisipadores.

A la hora de conectar, la placa Peltier irá conectada al sistema de cambio de polaridad y los ventiladores al relé que controla el cambio de polaridad para que se conecten cuando se conecte el conjunto y se desconecten cuando el conjunto está desconectado.

El conjunto, finalmente se ha decidido acoplar a la caja contenedora, en vez de los 4 tirafondos inicialmente propuestos, se ha decidido usar silicona universal para evitar fugas perimetrales.

4.3 Cambio frio/calor

Una de las ventajas de las placas Peltier, como se ha comentado anteriormente, al cambiar la polaridad de los bornes se invierte el proceso. Es decir si la placa Peltier se conecta de una determinada forma en la que una cara se calienta y la otra se enfría, en el momento en el que cambiemos la polaridad en los bornes la cara que se calentaba procederá a enfriarse y la cara que se enfriaba se comenzará a calentar.

Para realizar este cambio de polaridad se ha estudiado el uso de relés y el uso de transistores.

Si se pone relés es necesario el uso de 3 mínimo para realizar el cambio de polaridad. Por tanto será necesario el uso de 3 puertos del Arduino para controlar el cambio, uno por relé. Con el uso de transistores realizando un puente H, con usar 2 entradas del Arduino sería suficiente, se consigue el mismo efecto con un puerto menos.

Además el montaje es más compacto y barato dado que los elementos son más pequeños y de precio más económicos. Esto es un punto fundamental puesto que el uso de 2 o 3 puertos del Arduino, si no se tiene todos los puertos del Arduino en uso, no tiene mucha importancia, pero lo compacto que se pueda dejar y sobretodo la opción más económica tiene una relevancia mucho mayor.

Por ello la primera opción que se ha estudiado es la del uso de puente H con transistores NPN

4.3.1 Primera alternativa

Primero vamos a introducir un poco de teoría sobre los elementos que se han usado para esta primera prueba.

4.3.1.1 Transistor

El elemento clave en este sistema de conexiones es el Transistor



Lo primero aclarar que un transistor es un elemento eléctrico formado por un semi conductor el cual al aplicarle una pequeña cantidad de tensión se activa y deja pasar la corriente que se ha conectado a él. Por tanto, este consta de 3 patas, la entrada de la corriente (colector), la salida (emisor) y el regulador (base). Para entenderlo mejor se puede pensar en el transistor como en un grifo de agua, siendo la entrada de la corriente, la entrada del agua. La salida de la corriente, la salida del agua del grifo y la patilla reguladora, sería la válvula que accionamos en el grifo para dejar pasar más o menos agua.

Por tanto en función de la señal eléctrica que le demos a la base (patilla que controla el paso de corriente) va a dejar pasar una cantidad de energía u otra.

En este caso se van a usar como un interruptor controlado por el Arduino, es decir, sin rango, o abierto o cerrado.

Para ello se han elegido unos transistores TIP120.

Estos soportan una intensidad de 5A y una tensión de 60V

Se han elegido estos puesto que la intensidad que va a circular ronda los 4.5A y encontrar un transistor de 12V y amperaje tan alto es complicado y antieconómico, en cambio estos transistores nos van a dar el mismo resultado y teniendo un rango de seguridad bastante alto.

4.3.1.2 Diodos

Otro elemento que se va a usar posteriormente para la realización del puente H es el Diodo.

En este caso se va a utilizar un diodo rectificador, es decir, que su función consiste en únicamente dejar pasar la corriente en un sentido. Si la corriente circula en el sentido correcto, el diodo se comporta como un conductor normal y permite el paso de la corriente, sin embarco si la corriente circula en sentido contrario el diodo se comporta como un aislante no dejando circular la corriente.

Este elemento se coloca por protección, puesto que si la placa Peltier se encuentra en funcionamiento, en el momento de parada, tendrá una cara de la placa a temperaturas elevadas y la otra a temperaturas bajas y por lo tanto puede generar algo de energía y volver por el circuito dañando algún elemento.

Básicamente pasa lo mismo que con los motores eléctricos, que en el momento de parada, como no se les está aportando corriente, pero estos siguen girando por inercia, generan corriente eléctrica, la cual puede dañar algún elemento del circuito.

4.3.1.3 Puente H

A continuación se va a explicar un poco el funcionamiento del puente H.

Para ello se van a usar las siguientes imágenes para la explicación del funcionamiento del mismo.

En la primera figura (figura 35) se puede ver el esquema eléctrico tipo general que se va a seguir

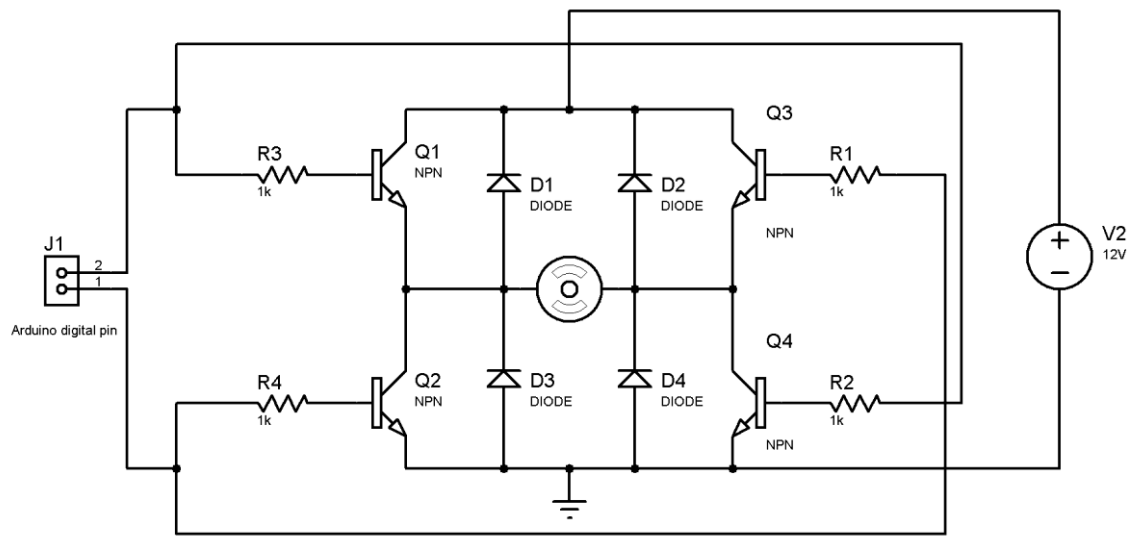


Figura 35 Esquema general puente H NPN

Como se puede ver en la figura 35 el circuito consta de 4 Transistores, 4 Diodos y 4 Resistencias.

Al disponerlos de esa forma se consigue que con una señal en el circuito 1 se conecte de una forma y con una señal en el circuito 2 se conecte de la otra. Es importante que los dos no se puedan activar nunca puesto que entraría en cortocircuito y se podría quemar hasta el Arduino

En la siguiente figura (figura 36) se puede observar que al activar el circuito descrito en la imagen como 1 se activan los transistores Q1 y Q4 de forma que:

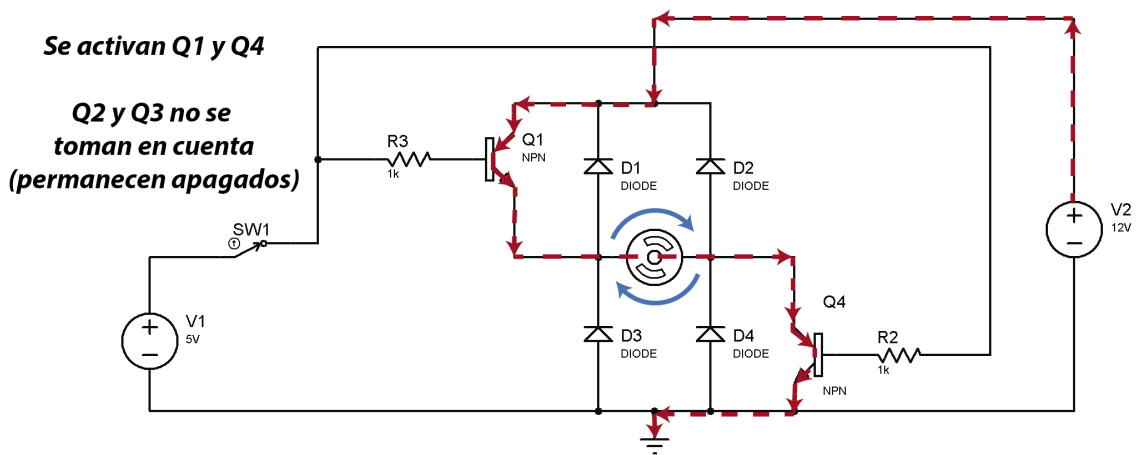


Figura 36 Esquema puente H NPN posición 1

Por el contrario si se activa el circuito denominado como 2 se activan los transistores Q2 y Q3 de forma que como se ve en la figura 37:

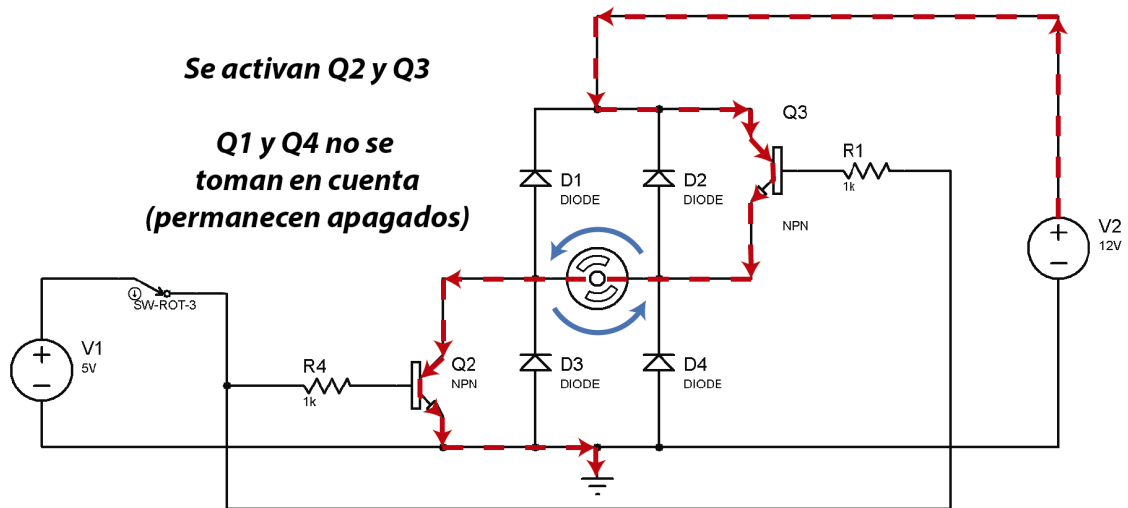


Figura 37 Esquema puente H NPN posición 2

En estos esquemas se puede ver que el elemento al que se le cambia la polaridad, es un motor, pero el principio sería el mismo, solo que en vez del motor girar para un lado o para el otro, la placa Peltier calentará y enfriará en una posición o en otra.

4.3.1.3.1 PROBLEMA

Al montar físicamente este circuito desde un principio se encontraron dificultades. Los transistores no saturaban bien por lo que no permitían el paso de toda la corriente que necesitaba la placa Peltier, funcionando a potencia muy baja y no realizando su trabajo correctamente.

El primer paso fue una revisión minuciosa de las conexiones y comprobar que el circuito estaba montado correctamente.

Una vez se comprobó que todo estaba correcto, se comenzó a realizar mediciones con el polímetro para averiguar el origen del problema. En primera instancia no se pudo reconocer el problema por lo que se comenzó a desglosar el circuito para ir simplificando y ver cuál era el problema.

En las primeras pruebas realizadas se conecta como receptor un ventilador que funciona a 12 V puesto que de esta forma es más fácil ver si funciona correctamente o se queda a media potencia.

La primera simplificación que se hizo fue la ilustrada en la siguiente figura (figura 38).

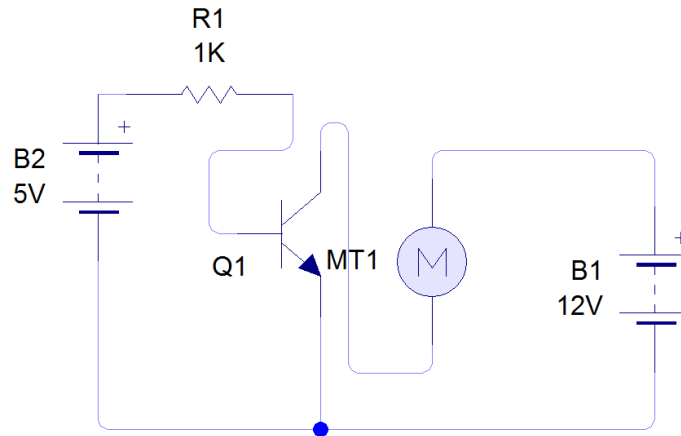


Figura 38 Esquema puente H transistor aguas abajo

En este caso el circuito funciona correctamente, el transistor satura por completo y el ventilador funciona a plena potencia

La batería B2 representaría al Arduino, siendo la parte positiva el pin que controla el transistor y la parte negativa el GND o tierra del Arduino.

En este caso como se puede comprobar, el transistor se encuentra tras el motor (ventilador), es decir, la corriente sale de la fuente B1 y entra por un borne del motor, sale por el otro y es entonces cuando la corriente circula por el transistor que está siendo saturado por el Arduino o la fuente de 5V en este caso.

La siguiente prueba se puede ver en la siguiente figura (figura 39):

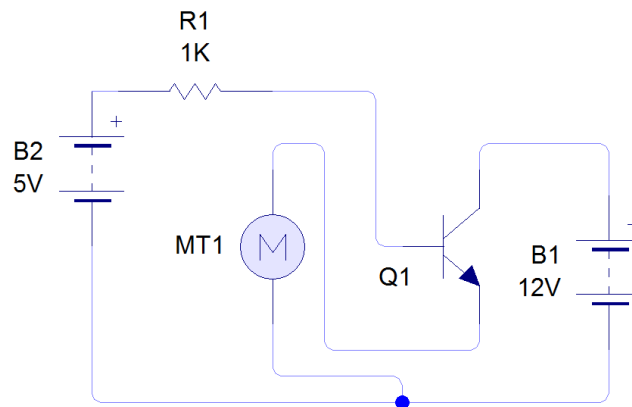


Figura 39 Esquema puente H transistor aguas arriba

La diferencia con el circuito anterior es que este representaría la parte que se encuentra aguas arriba del motor, es decir, en este caso la corriente saldría del positivo de la fuente de alimentación, de esta pasa por el transistor controlado por el Arduino y posteriormente circula por el motor y de este a tierra.

En esta prueba ya no satura correctamente, el motor funciona por debajo de la potencia de la que se supone debería funcionar.



Al medir la diferencia de potencial que hay entre el colector y el emisor da una diferencia de potencial de 8V cuando debería ser 1V a lo sumo. Esto significa que el transistor no ha saturado bien.

Al medir la diferencia de potencial entre el Arduino y el emisor del transistor nos da un valor de 1.35V y al realizar la medida entre el Arduino y la tierra sí que nos da los 5V que debería.

Esto significa que la corriente que da el Arduino se divide entre la saturación del transistor y la alimentación del motor, es decir, el Arduino está intentando alimentar el motor y saturar el transistor a la vez, por lo que no satura del todo el transistor y el motor no se alimenta correctamente.

En este punto se intentó corregir la parte del circuito que se encuentra aguas arriba del motor o de la placa Peltier en nuestro caso, es decir cambiar los transistores Q1 y Q3 por algo homólogo que realice la misma función pero correctamente.

4.3.2 Segunda alternativa

Para esta prueba se decide introducir un elemento nuevo, que sustituyen a los transistores NPN que se colocan aguas arriba del circuito. Dichos elementos son transistores PNP.

4.3.2.1 Transistor PNP

El principio de funcionamiento es similar al transistor explicado en el apartado anterior, el único cambio es la dirección de la flecha que incida la dirección de la corriente.

Se van a usar este tipo de transistores porque nos permiten realizar un circuito que, a pesar de que este se encuentre aguas arriba del mismo, se pueda saturar correctamente y el motor (o en nuestro caso la placa Peltier) funcione a la potencia deseada.

En este caso se ha decidido usar el TIP 42 que soportan corrientes de hasta 6 A de forma continuada y 40V de tensión.

Como en el caso de los TIP 120 se han elegido estos porque la intensidad que va a circular ronda los 4.5A y encontrar un transistor de 12V y amperaje tan alto es complicado y antieconómico, en cambio estos transistores nos van a dar el mismo resultado con un rango de seguridad además bastante alto.



4.3.2.2 Puente H con PNP

El circuito se puede ver en la figura 40. Con respecto al puente H realizado únicamente con transistores TIP120 las diferencias como se pueden ver radican en la parte de aguas arriba del circuito.

En este caso en vez de poner un TIP 120 se ha puesto un TIP 42 y para controlarlo un transistor 2n2222 que es igual que el TIP 120 pero de baja potencia dado que solo va a controlar la saturación o no del TIP 42.

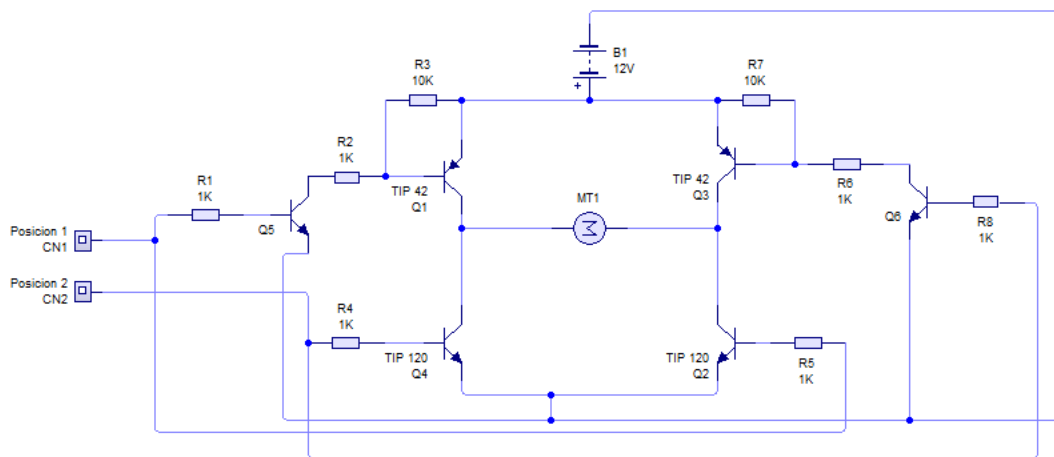


Figura 40 Esquema puente H PNP general

A continuación se muestran dos imágenes de cómo quedaría el circuito en la posición 1 (figura 41) y en la posición 2 (figura 42) en función de por dónde circularía la corriente.

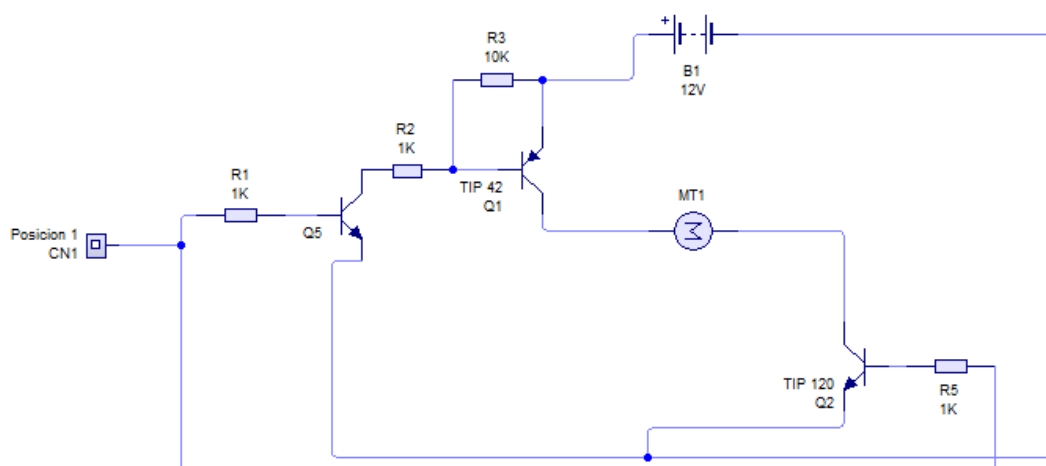


Figura 41 Esquema puente H PNP posición 1

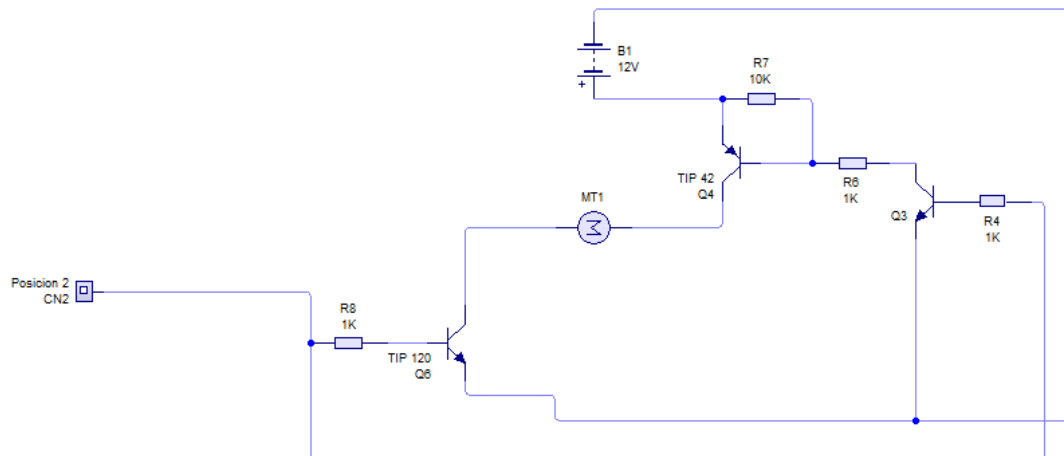


Figura 42 Esquema puente H PNP posición 2

En esta figura (figura 42) se puede ver que para activar el TIP42 lo que se hace es activar el 2n2222 de forma que la corriente comenzará a circular por la resistencia R3 o R7 (dependiendo de la posición en la que nos encontremos) generando una caída de tensión entre la entrada del TIP42 y la base. Esta caída de tensión es suficiente para saturar la base permitiendo la circulación de la corriente hacia el motor de forma directa, y la corriente que satura el transistor en este caso se dirigirá directamente a tierra sin pasar por el motor, por lo que se saturaría correctamente.

Una vez se dibujó el circuito y se montó se pudo comprobar que funcionaba correctamente con el ventilador de prueba pero, al probar el mismo circuito con la placa Peltier volvió a dar problemas de funcionamiento.

Se repitió el procedimiento anterior por lo que se volvió a usar el polímetro para ver si se podía identificar el problema después de comprobar todas las conexiones.

En este caso con el polímetro se pudo identificar el problema rápidamente. En este caso el problema se encontraba en los cables usados para las conexiones y en la propia PC board donde se montan los circuitos de prueba. Los cables usados son los mismos que se usan para las conexiones del Arduino, es decir, son cables tan pequeños que al circular una cantidad de corriente tan elevada como la que se necesita para que la placa Peltier funcione, generaban resistencias y se la temperatura de los mismos se elevaba rápidamente.

Dado que el problema era de cableado se montó el circuito en una placa virgen y se unieron los bornes con cordones de estaño y cable del que se usa para instalaciones en viviendas.

En la figura 43 se puede ver el circuito de prueba montado (este es solo la mitad del circuito, es decir, el que quedaría en una de las posiciones)

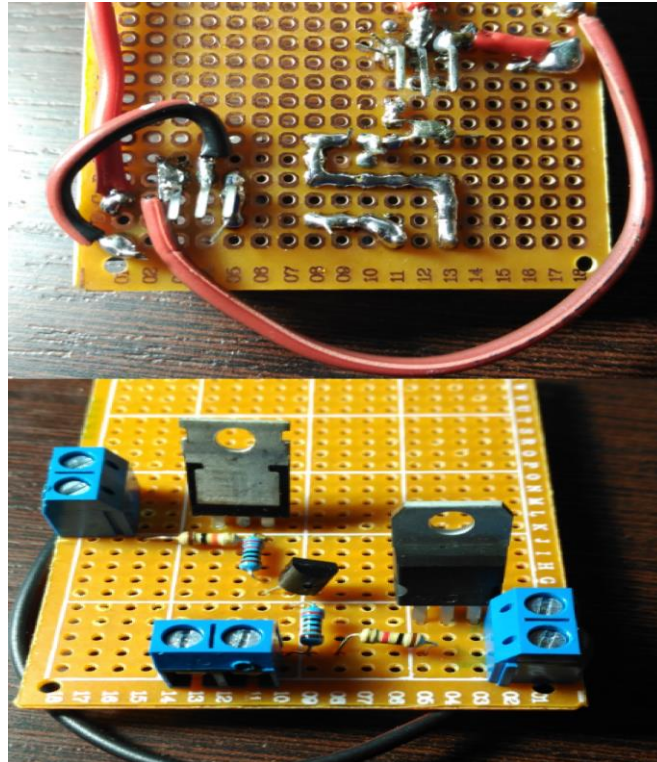


Figura 43 Foto prueba puente H PNP

En la primera prueba los resultados obtenidos no eran los esperados pues no se terminaban de saturar correctamente los transistores. Esto sucedía porque hay que esperar unos segundos a que el circuito se estabilice y a continuación los resultados son exactamente los esperados, la placa Peltier funcionaba a plena potencia.

4.3.2.2.1 PROBLEMA

El inconveniente es que los transistores se calentaban excesivamente, pero esto es normal, la solución pasa por ponerles unos disipadores que se acoplan al agujero que tienen.

Al comprobar los disipadores que se necesitaban para disipar la potencia que soportaban los transistores se pudo ver que tanto el tamaño como el precio dejaban esta opción automáticamente desestimada.

En un principio se había optado por el uso del puente H porque era la opción más económica y compacta.

Se había tenido en cuenta que habría que poner disipadores, pero al comprobar la temperatura tan elevada a la que se ponían los transistores en cuestión de segundos se pudo ver que los disipadores que serían necesarios para un funcionamiento correcto y duradero eran de un tamaño excesivamente grandes.

Además hubiera sido necesario el añadir un sistema de ventilación para refrigerarlos, porque al querer meter los elementos en una caja que contenga todos los circuitos, la refrigeración de los transistores se dificulta.



Por todo ello se ha optado por desechar esta opción y cualquiera que necesite transistores para funcionar.

4.3.3 Tercer alternativa

En este caso el elemento que va a restringir el paso de la corriente o no, dado que el principio que se va a usar es el mismo, es el relé.

4.3.3.1 Relé

Este es un elemento de funcionamiento muy simple pero muy efectivo. Consiste en un interruptor el cual consta de 4 bornes de entrada y 2 de salida.

Los bornes de entrada se dividen a su vez en 2 bornes que van a alimentar el relé, un tercero que va a ser el encargado de transmitir la orden de excitación o no y el cuarto que va a ser la entrada de la corriente que queremos controlar.

Los dos bornes de salida que tienen son:

Un borne que esta normalmente abierto, es decir, que en estado de reposo ese borne no está conectado con el de entrada de la corriente a controlar y en estado de excitación si se conecta dejando circular la corriente.

El otro borne tiene la misma función pero a la inversa. Cuando el relé se encuentra en estado de reposo este se encuentra conectado con el borne de entrada dejando circular la corriente y cuando se excita se corta la corriente.

El funcionamiento es muy simple, el borne de entrada de la corriente a controlar se encuentra en medio de los dos bornes de salida. Este tiene una patilla que cuando esta sin excitar está conectada al borne de salida que se encuentra normalmente cerrado. Cuando se le da una señal de activación, el relé alimenta un bobinado interno que hace la función de un electroimán haciendo moverse la patilla hacia el lado contrario abriendo el borne normalmente cerrado y conectándose al borne normalmente abierto.

En este caso se va a usar un módulo de 4 relés puesto que a pesar que se van a usar solo 3, el precio no varía apenas y el relé libre puede ser de utilidad más adelante.

Este módulo se alimenta a 5v (dado que es lo que el arduino nos suministra) y la corriente a controlar puede alcanzar hasta 10A y 28V, además viene preparado para conectarlo directamente al arduino y a la corriente a controlar.

4.3.3.2 Circuito con relés

El primer circuito que se ha probado ha sido el siguiente (figura 44):

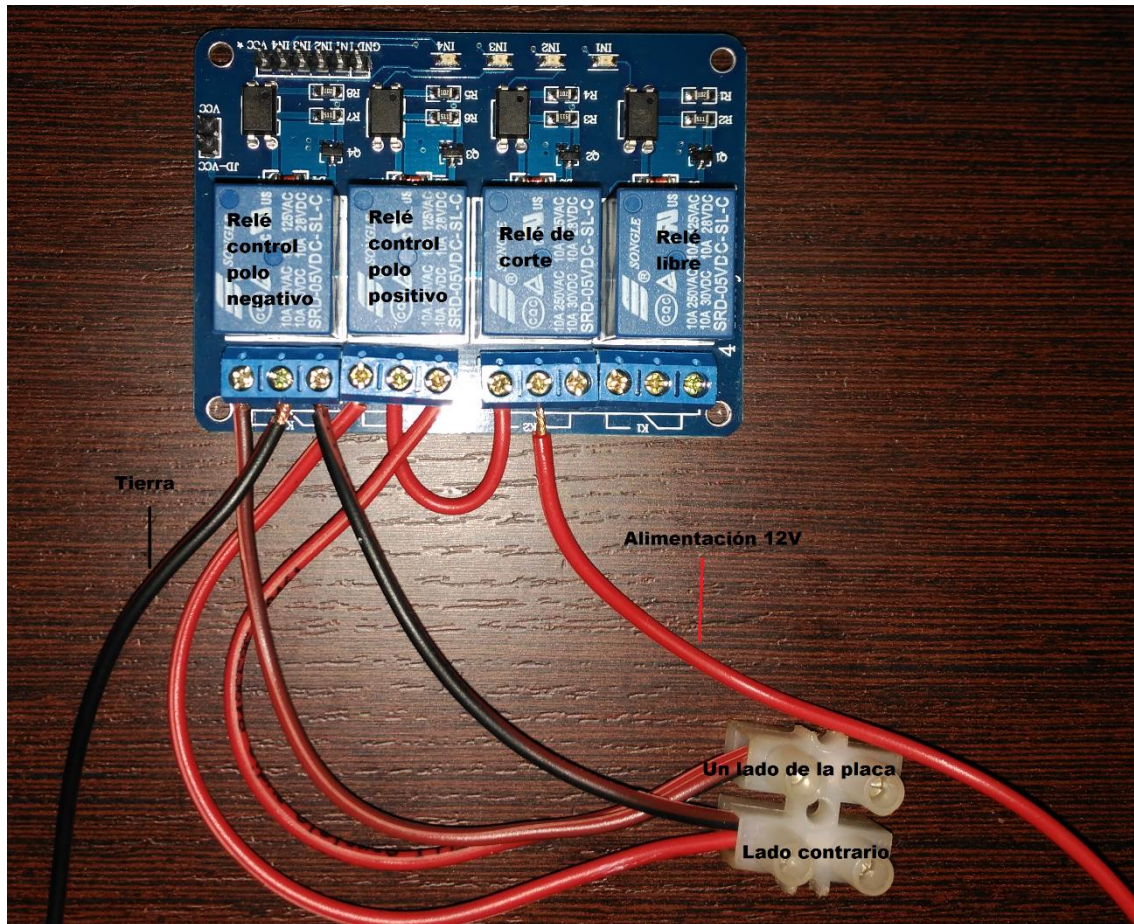


Figura 44 Conexiones relés y Placa Peltier

Como se puede ver en la figura 44 se va a usar un relé como interruptor del sistema completo, es decir, si el relé de corte no se encuentra en estado alto o de excitación no va a circular corriente por el resto del sistema de frío/calor.

Otro relé se encarga de controlar el polo positivo y el último se encarga del control del polo negativo.

Para poder hacer el cambio de polaridad los relés que controlan el lado positivo y el lado negativo se han conectado de la misma forma que se ve en la figura.

Como se ha explicado en el apartado anterior el relé tiene la entrada de la corriente a controlar en el tornillo central de cada relé y en este caso el tornillo de la izquierda corresponde a la salida normalmente abierta y el de la derecha a la salida normalmente cerrada.

Por lo tanto se conectará:

Posición calentar: Dado que la función principal de la incubadora es mantener una temperatura que en general está por encima de la ambiente, la posición de calentar será la más usada, por lo que esta posición corresponderá a las salidas normalmente cerradas de los relés que controlan la polaridad. Es decir, para que esta posición se active solo será necesario conectar el relé de corte-

Posición enfriar: Esta opción se espera que se use en menos ocasiones puesto que no es una situación habitual. Pero a veces la temperatura ambiente puede que sea superior a la



temperatura objetivo que se quiere tener en el interior de la incubadora. Por lo tanto esta posición se ha montado en las salidas normalmente abiertas de los relés que controlan la polaridad. Por tanto para que esta posición se active será necesario conectar los 3 relés, el que da la corriente y los dos que controlan la posición.

En la figura anterior se puede ver cómo están conectados a la regleta que se conecta directamente a la placa Peltier las salidas de los relés. En la salida superior de la regleta se puede ver que están conectados el normalmente abierto del relé negativo y el normalmente cerrado del relé positivo. En la salida inferior se ve que están conectadas las otras 2 salidas, la normalmente cerrada del relé negativo y la normalmente abierta del relé positivo.

De esta forma al conectar solo el relé de corte se tendrá en la parte superior de la regleta el polo positivo y en la inferior el negativo y si se conectan los 3 relés se tendrá el negativo en la parte superior y el positivo en la inferior.

De esta forma se consigue el cambio de polaridad de una forma sencilla y efectiva a su vez.

4.3.3.2.1 PROBLEMA

En primera instancia el circuito funcionó correctamente, pero al comprobar el funcionamiento global del sistema, se detectaron anomalías que no deberían haber salido. Entre ellas, los termistores no medían la temperatura correctamente y el resto de sensores no terminaban de funcionar correctamente.

Tras analizar el porqué de estos errores se comenzó a medir la tensión en los diferentes sensores conectados. En principio los termistores deberían estar conectados a 5V para que nos muestren la temperatura correcta. Pues en este caso el Arduino solo sacaba en ocasiones 4.5V y en otras 3.9V.

Tras varias mediciones más se llegó a la conclusión de que el problema eran los relés. Se llegó a dicha conclusión porque la variación de salida del voltaje del Arduino coincidía con la activación o desactivación de los relés. Cuando solo se encontraba conectado el relé de corte el voltaje de los termistores era de 4.5V y en el momento que se conectaban los 3 relés la tensión caía hasta los 3.9V.

Esto es debido a la corriente que demandan los relés para activarse, el Arduino no tiene potencia suficiente para alimentar a todo lo conectado y se producen estas caídas de tensión que generan problemas en el control de los sensores y accionadores.

4.3.3.2.2 SOLUCIÓN

Dado que el problema radica en la alimentación de los relés y aprovechando que se tiene una fuente de alimentación con potencia suficiente, se va a alimentar con la misma fuente que se alimenta el resto de la incubadora. El problema es que esta fuente es de 12V, por lo que habrá que montar un regulador de tensión para bajar la fuente hasta 5 V.

Además hay que señalar que el módulo de 4 relés ya está preparado para una alimentación externa.

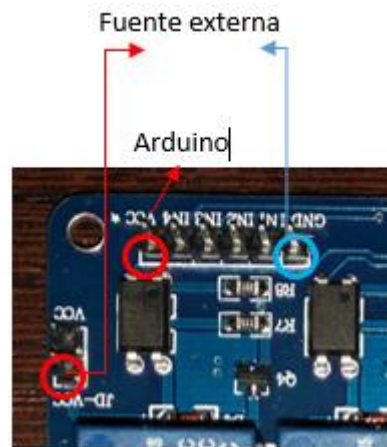


Figura 45 Conexiones alimentación Relés

En esta ampliación se puede ver que a la izquierda de la figura 45, el módulo tiene 2 puertos más. Para alimentarlo externamente en el puerto VCC* se sigue conectando a los 5v del Arduino y en los puertos IN 2,3 y 4 las salidas del Arduino que van a controlar los relés. La alimentación externa se conecta al puerto JD-VCC y al GND.

Conectado de esta forma, el módulo se alimenta desde una fuente diferente al Arduino pero sigue siendo controlado por este.

De esta forma se consigue controlarlo perfectamente sin que afecte al resto de elementos controlados por el Arduino.

El único inconveniente que genera este sistema es el cambio que hay que hacer de voltaje, ya que al no tener una demanda fija por parte del módulo, puesto que en ocasiones no habrá nada conectado, en otras solo un relé y en otras estarán activados los 3 relés, la bajada de tensión no se puede hacer un unas simples resistencias.

4.3.3.2.3 Alimentación módulo 4 relés

Para la disminución de voltaje pues se va a usar un regulador de voltaje.

En este caso se ha usado el LM317T. Este soporta una corriente de hasta 1.5A y tiene un rango de tensión de 1.25 a 37V. Dado que cada relé consume alrededor de 60mA este regulador es perfecto.

El regulador consta de 3 bornes, el de entrada, el de salida y el de ajuste de potencial.

Se puede hacer un regulador variable si conectamos un potenciómetro al borne de regulación, pero como lo que se quiere es que saque una tensión fija de 5V, se van a conectar 2 resistencias fijas de la siguiente forma.

El circuito utilizado es el siguiente:

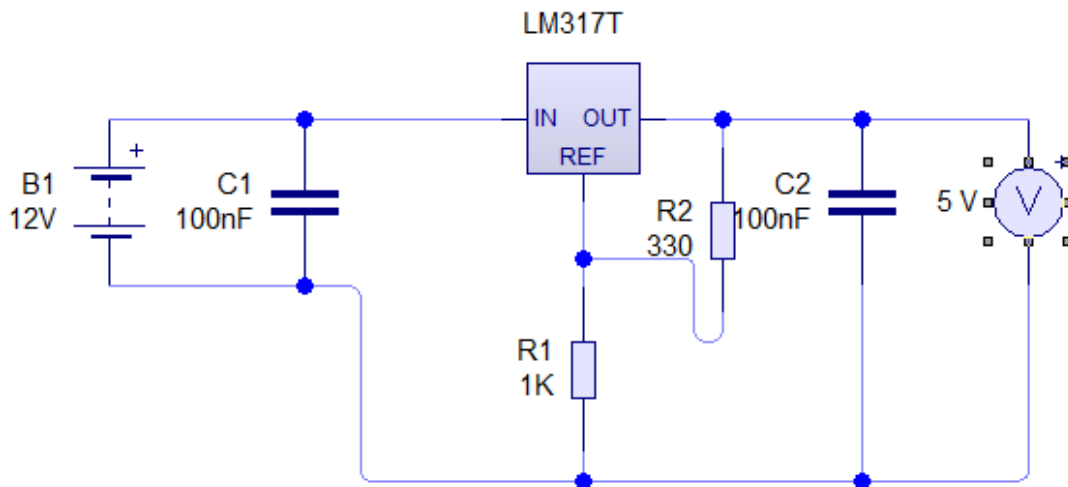


Figura 46 Circuito regulador de tensión

Como se puede ver en el esquema de la figura 46 se usan 2 condensadores, que se podrían quitar sin ningún problema, pero pueden ayudar a evitar ruidos de fondo en el circuito y evitar así problemas con un coste muy reducido.

Como en el caso en el caso del puente H con PNP, el regulador de tensión también se calienta de forma considerable. Este elemento no eleva tanto la temperatura como los anteriores puesto que solo circula por este unos 200mA medidos con un amperímetro con los 3 relés conectados. En principio debería aguantar perfectamente sin disipador, pero teniendo en cuenta que este se va a meter en una caja cerrada, se va a acoplar un disipador de tamaño muy reducido para ayudar a disipar el calor.

Para la montar el circuito físicamente se ha decidido hacerlo en la misma placa que se está usando para montar las conexiones del resto del termostato puesto que de esta forma se puede hacer una placa compacta reduciendo el tamaño total.

4.3.4 Resumen elección

En la siguiente figura (figura 475) se recoge el circuito que se ha utilizado para el control de la polaridad de la placa Peltier.

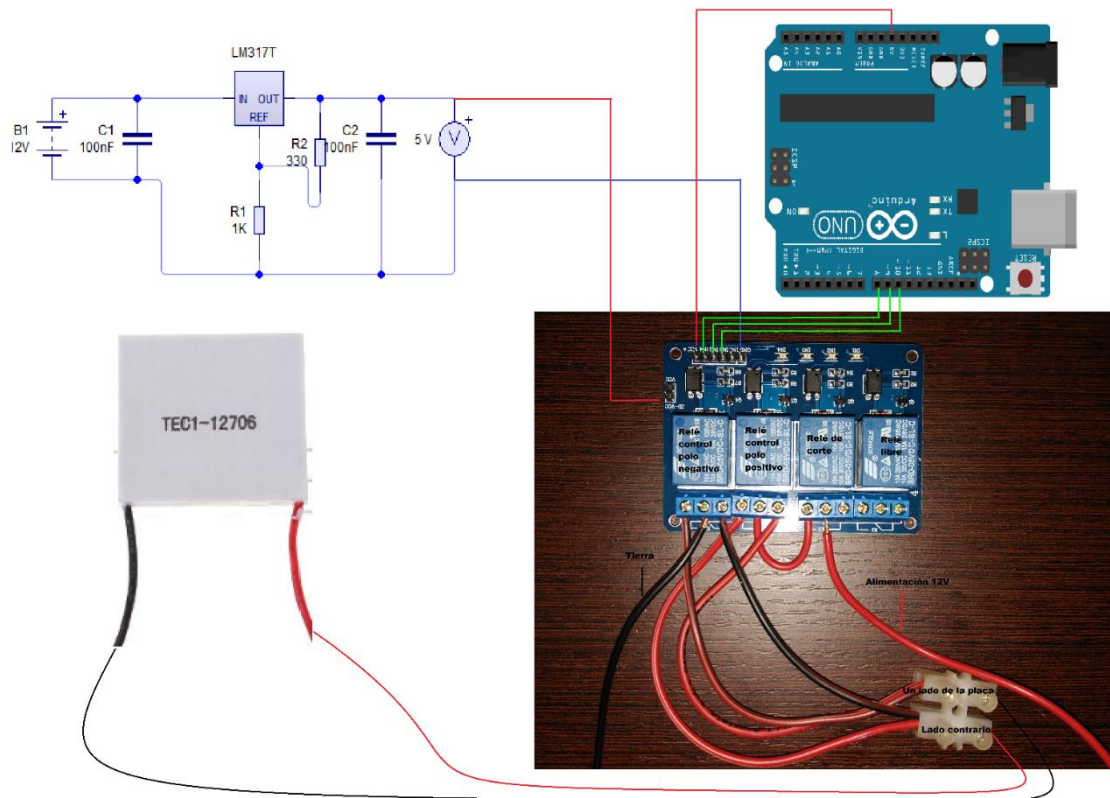


Figura 47 Conexiones Arduino/Relé/Placa Peltier/ Controlador tensión

Como se puede ver, el módulo de relés se alimenta con 5 V gracias al regulador de potencial que transforma los 12V de entrada de la fuente en los 5V que se van a usar. A su vez el control de la alimentación de la placa Peltier y de su polaridad se realiza conectando la fuente de 12V a los bornes de los relés indicados en la figura como el cable de Alimentación 12V (de color rojo) y el Tierra (de color negro).

Además el Arduino controla la activación o no de los relés mediante los puertos 8 9 y 10. El Arduino también tiene que ser conectado a los relés mediante el puerto de 5V al puerto de VCC* del módulo como se ve en la figura.

Por tanto en resumen la placa se controlaría de la siguiente forma (figura 48):

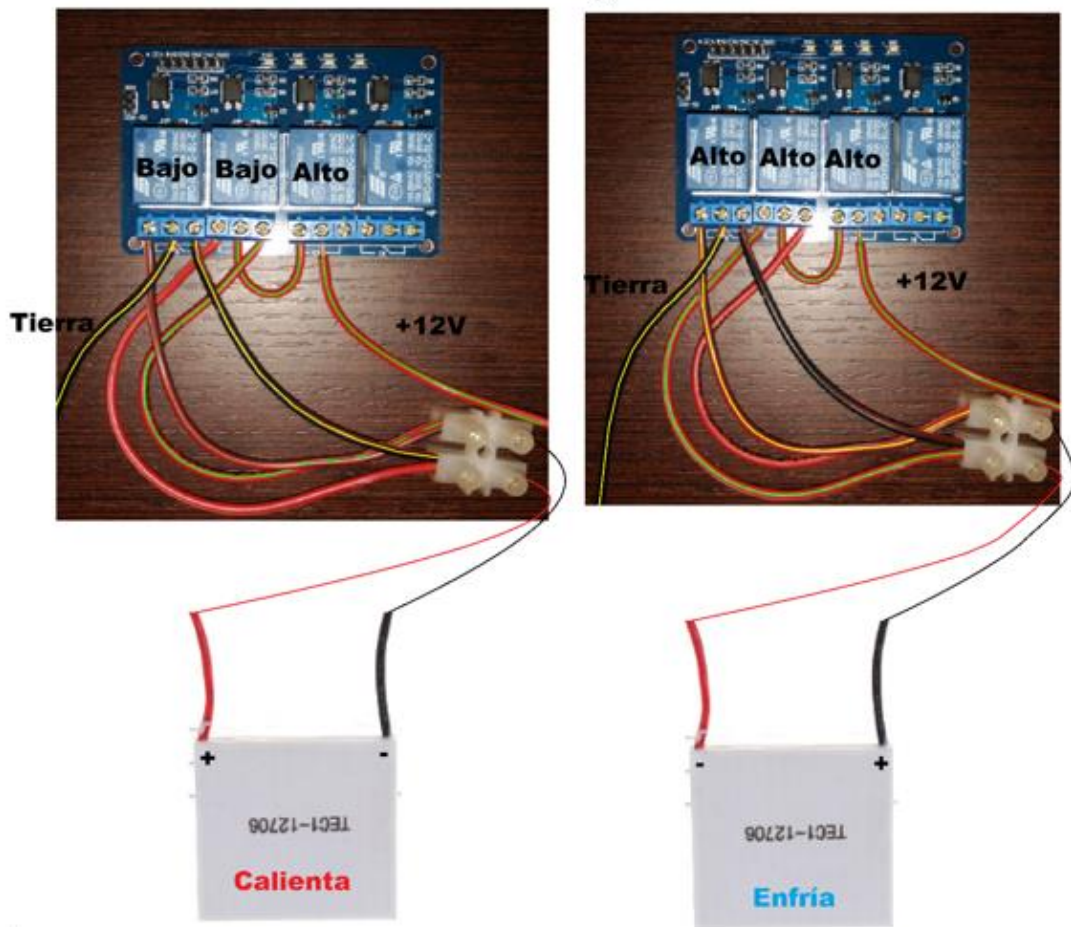


Figura 48 Resumen cambio polaridad Placa Peltier

En este caso se han conectado:

Relé de corte → puerto 10

Relé positivo → puerto 9

Relé negativo → puerto 8

De forma que:

1. Placa apagada porque no es necesaria su conexión:
 - Todos los puertos en modo bajo por lo que todos los relés en modo de reposo y la corriente de entrada de 12V se corta en el relé de corte.
2. Placa emitiendo calor hacia el interior:
 - El puerto 10 en modo alto por lo que el relé de corte en modo excitado y deja pasar la corriente, de forma que la placa se alimenta desde los otros dos relés desde los bornes normalmente cerrados y emite calor hacia el interior.
3. Placa emitiendo frío hacia el interior:
 - Puerto 10, 9 y 8 activados, de forma que el relé de corte se activa y los otros dos relés cierran los bornes normalmente abiertos cambiando la polaridad de la placa y emitiendo frío hacia el interior.



Por último añadir que el control de los relés se realizará en función de la temperatura objetivo que se introduzca en el programa y de los límites superior e inferior de oscilación que se permita.

Cuando la temperatura baje los grados estimados de la temperatura objetivo se conectará la función de calentar activando el relé de corte. Este estará activado hasta que la temperatura llegue a la temperatura objetivo. En ese momento se cortara la corriente apagando el sistema calor/frío.

Si por cualquier motivo se necesita reducir la temperatura, o si la temperatura sobrepasa el límite superior se conectarán los 3 relés cambiando la polaridad y enfriando el interior de la incubadora.

De esta forma nunca cambiara de la posición de frío a la de calor sin pasar por la de corte, de forma que es imposible que en ningún momento haya algún tipo de cortocircuito.

Si se pasara de una posición a la otra, sin interrumpir la corriente, podría ocurrir que los dos relés no se accionaran simultáneamente y generarían un cortocircuito.

4.4 Termostato y humedad

En este apartado se va a explicar el diseño y el montaje del sistema de control de temperatura, desde los sensores (humedad y temperatura) utilizados hasta las conexiones pasando por el diseño del mismo.

4.4.1 Diseño general

Se pretende diseñar un termostato el cual controle la temperatura y muestre tanto la temperatura como la humedad interna de la incubadora.

Por tanto se va a utilizar tanto sensores de temperatura como de humedad.

La idea básica consiste en, tras introducir la temperatura objetivo y definir los límites de actuación del termostato, este tiene que medir y mostrar por pantalla tanto la humedad como la temperatura y actuar en función de la temperatura muestreada.

Por consiguiente:

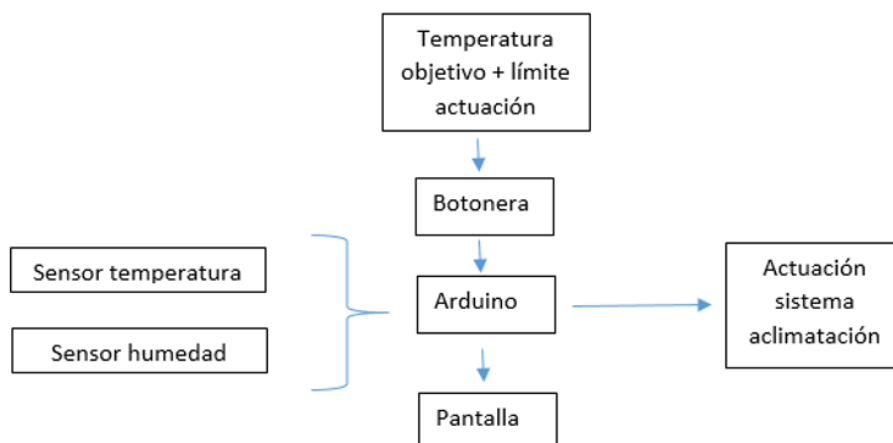


Figura 49 Funcionamiento termostato



En la figura 49 se puede ver con mayor claridad el proceso que tiene que seguir el termostato para un correcto funcionamiento del control ambiental de la incubadora.

4.4.1.1 Sensores utilizados

Medición de la temperatura:

Para la medición de la temperatura se ha decidido usar termistores NTC 3950 con cable de 100k Ω , esto significa que a 25°C el semiconductor tendrá una resistencia al paso de la corriente de 100k Ω . El funcionamiento ya se ha explicado en el apartado 2.1.3 *Sensor de temperatura*.



Figura 50 Termistor 100k Ω NTC 3950 con cable

Se ha elegido este termistor (figura 50) puesto que ya está montado de fábrica con cable aislado, de forma que la humedad interna de la incubadora no le afecte asegurando un buen funcionamiento del mismo.

La humedad puede afectar a la correcta medición de temperatura dado que esta puede condensarse sobre el cable. Si esto sucede es probable que se forme un puente de agua entre ambos cables (el de entrada y el de salida del termistor) por lo que el Arduino detectará la resistencia que ofrece el agua (en vez de medir la resistencia del semiconductor) y muestreará la temperatura que le correspondería a esa resistencia en concreto. Teniendo en cuenta que la resistencia del agua es mínima y que el termistor es un modelo NTC (coeficiente de temperatura negativo), la temperatura que muestrearía sería ridículamente alta.

Para la medición de la temperatura se ha decidido instalar 2 termistores.

Uno de ellos medirá la temperatura ambiente, mientras que el otro termistor se insertará en el sustrato de incubación, donde reposarán los huevos. De esta forma medimos tanto la temperatura que el huevo recibe desde el ambiente hasta la recibida desde el sustrato. En principio las dos temperaturas deben de ser iguales. El problema viene a la hora de calentar o enfriar el interior, puesto que el aire tiene una inercia térmica mucho menor, por lo que cambia muy rápido de temperatura al aplicarle una cantidad menor de energía al contrario que el sustrato.

Por ello se ha decidido el instalar 2 termistores. La temperatura objetivo por tanto será la media de ambas medidas.

Por otro lado, se ha decidido encapsular los termistores para mejorar sus propiedades. Estos sensores son tan sensibles, que por el simple hecho de encontrarse cerca del mismo, este detecta la temperatura corporal y aumenta la temperatura.

Teniendo en cuenta que se quiere medir la temperatura global y no la puntual, se ha decidido sumergirlos en glicerol en el interior de unos viales cónicos de 2ml. De esta forma el termistor aumenta su inercia térmica estabilizando la medida.



Para ello se ha realizado un orificio en la tapa con una broca de 2mm, se ha introducido el termistor y se ha sellado el agujero con silicona universal.

Se ha utilizado glicerol porque es un líquido con densidad alta, por lo que si quedaban fugas, es improbable que este líquido se pierda. Además es un fluido no conductor, por lo que no va a alterar la medición del termistor.

Sensor de Humedad

Como sensor de humedad se ha utilizado un DHT11 explicado en el apartado 2.1.2 *Sensores de humedad*.

Como se indica en dicho apartado, este sensor mide tanto humedad como temperatura. La idea inicial era usar este sensor para medir ambos parámetros, pero tras analizar la precisión del mismo, en cuanto a la temperatura, se decidió usar termistores para la medida de la temperatura.

Para la humedad en cambio, no es necesario tener una precisión tan exacta, por lo que este sensor se adecua perfecto a las demandas de este proyecto.

En este caso se ha usado únicamente un sensor DHT11 y se ha colocado en el lado opuesto al del termistor a una altura media

En los dos casos, el de los termistores y el del DHT11, se ha pasado los cables de estos del interior de la incubadora al exterior mediante 2 orificios realizados. Estos se han realizado con una broca de 4mm y sellados con silicona universal para evitar fugas de temperatura y que el cableado se mueva.

4.4.1.2 Display y botonera

Como se ha comentado en el apartado *Pulsador y Salida visual*, se van a usar pulsadores como botones para introducir la temperatura objetivo y los límites de actuación del conjunto de aclimatación y se van a visualizar los datos de los sensores por una pantalla LCD 16X2.

4.4.1.3 Soporte físico

El termostato necesita de un soporte físico para acoplar tanto la botonera, como la pantalla como sus conexiones. Para ello se ha decidido usar 2 soportes.

El primer soporte o soporte interno es el encargado de las conexiones y de sujetar los componentes a conectar, en este caso los pulsadores.

El segundo soporte o soporte exterior es el encargado de embellecer el termostato y el encargado de albergar tanto botonera como pantalla.



Soporte interior

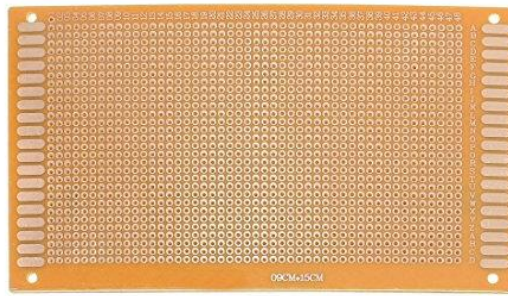


Figura 51 PCB perforada

Para soporte de conexiones, se ha utilizado una PCB agujereada. Esta es una placa similar a las de circuitos impresos, con la diferencia que esta está agujereada para añadir elementos y sin pistas predeterminadas. Es decir que es un soporte para montar y conectar elementos eléctricos/electrónicos.

Como se puede ver en la figura 51 esta es una lámina de un plástico agujereado. Cada agujero está rodeado de un metal conductor como puede ser el cobre o el aluminio. De esta forma se facilita la aplicación de estaño a la hora de dibujar las pistas.

En este se van a conectar casi la totalidad de elementos, esto se explicara más adelante. En este caso nos concierne la parte de la botonera.

Por lo tanto este es el soporte utilizado para los pulsadores entre otros elementos. Por añadir un ejemplo, el circuito para alimentar el conjunto de relés explicado en el apartado 4.3.4 *Resumen elección* también se ha montado sobre este soporte.

Soporte externo

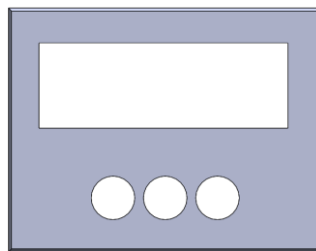


Figura 52 Soporte exterior, marco termostato

Como se puede ver en la figura 52, esta pieza es básicamente un marco para poder acoplar la pantalla y los botones en un elemento físico estéticamente aceptable.

La parte de cableado y demás se encontrará en una caja que más adelante se explicará, en la que se le acoplara este marco para visualizar la pantalla y acceder a los pulsadores.

Las medidas de esta pieza se encuentran en el *Anejo1 Planos*.

Esta pieza ha sido imprimida con una impresora 3D en plástico PLA de color negro.



4.4.2 Conexiones

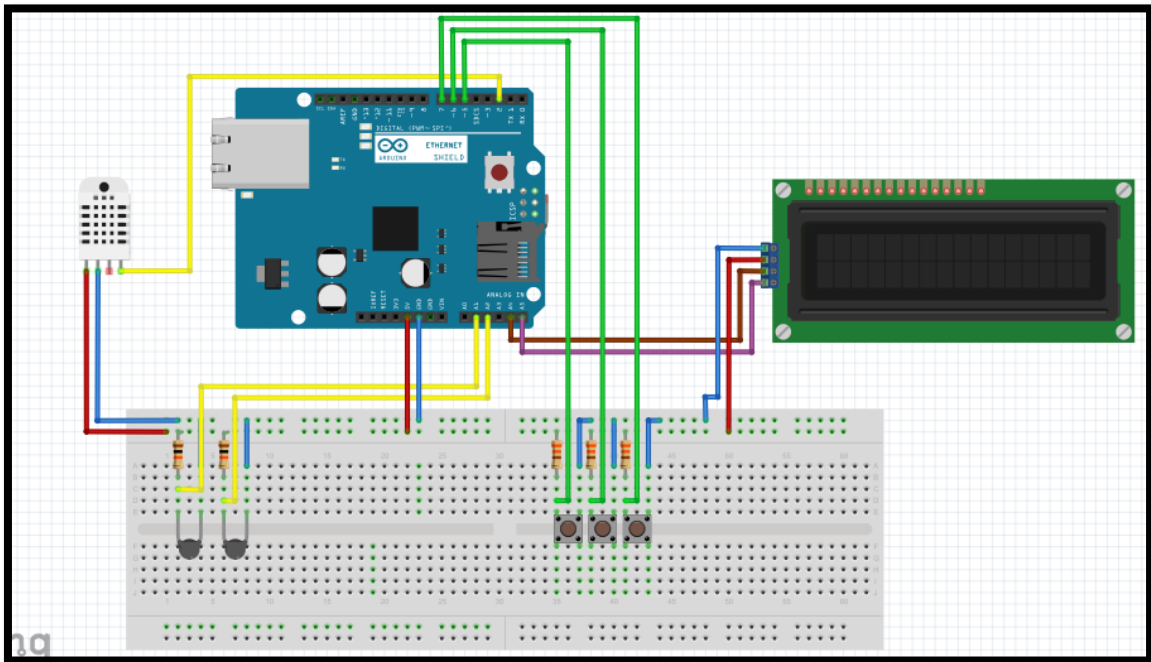


Figura 53 Esquema conexiones termostato

En la figura 53 se pueden ver todas las conexiones necesarias de los elementos que conforman el termostato.

En este caso la protoboard se usa para probar las conexiones, pero una vez que se tienen claras las se procede a realizar las mismas conexiones dibujando las pistas con estaño en una PCB agujerada.

Como se puede ver los termistores necesitan de una resistencia, en este caso de 10k Ω . Esta resistencia puede variar, pero hay que contemplarlo en el programa que relaciona la resistencia del termistor con la temperatura, puesto que es un parámetro de cálculo de la temperatura.

Los puertos que van a leer los datos de los termistores van a ser los A1 y A2. Ambos son puertos analógicos.

La pantalla, como se ve, solo necesita 4 conexiones, esto se explica con mayor detalle en el apartado 2.1.6 *Salida visual (LCD 16x2)*. Dos de ellos son los encargados de alimentar la pantalla y los otros dos los que transmiten los datos a visualizar, siendo conectados a puertos analógicos del Arduino.

En esta pantalla se visualizará en la primera línea las 2 temperaturas medidas y en la fila interior se mostrará la humedad relativa.

En cuanto a los pulsadores, cada uno necesita una resistencia de 330 Ω y se conectan a puertos digitales, pues el Arduino solo tiene que detectar un ALTO o un BAJO, que correspondería al pulsador accionado o al pulsador en reposo.

Para la medición de la humedad, el sensor DHT11 se conecta a un puerto digital, pero en este caso lo que el Arduino detecta es una serie de ALTOS y BAJOS puesto que se ha conectado a un puerto digital PWM.



De esta forma el Arduino es capaz de leer la temperatura y humedad interior y sacarlo por pantalla. Este a su vez, actuará en función de la temperatura objetivo y los límites programados activando o no el conjunto climatizador conectado de forma explicada en el apartado anterior 4.2.3 *Resumen elección*.

5. Software

En este apartado se va a tratar de explicar el programa generado y volcado en el Arduino para controlar el sistema completo de la incubadora, desde la lectura de los sensores hasta la reacción de los actuadores pasando por la salida por pantalla.

Para explicar el programa, por una parte se va a explicar un diagrama de flujo, en el que se explica la lógica que sigue el programa pero sin los comandos específicos.

Por otro lado se va a añadir el completo de las líneas del programa para tener claro los comandos utilizados para llevar a cabo el proceso que se explicará en el diagrama de flujos del programa.

Hay que señalar que en la programación con Arduino, una de las ventajas que tiene, es que para controlar los sensores y los actuadores, si es necesario, se pueden adquirir librerías de forma muy sencilla y cargarlas al inicio del programa. De esta forma el control de cualquier elemento se simplifica en comandos concretos, como por ejemplo el LCD.

Este elemento, con la librería y pocos comandos sencillos, se puede gobernar de forma muy sencilla, por el contrario si no se tuviera la librería, la programación se complicaría de forma muy notoria.

Por lo que también se indicará las librerías usadas.

Además se explicaran partes que se han tenido que tener en cuenta para el correcto funcionamiento del programa.

5.1 Diagrama de flujo programa

Este diagrama tiene un tamaño muy grande, por lo que se ha dividido en 4 hojas:

- La primera constará de la parte del programa que mide la temperatura y humedad
- La segunda explica el accionamiento del sistema de aclimatación
- La tercera mostrará el modo cambiar temperatura objetivo
- El cuarto el modo cambiar límites.

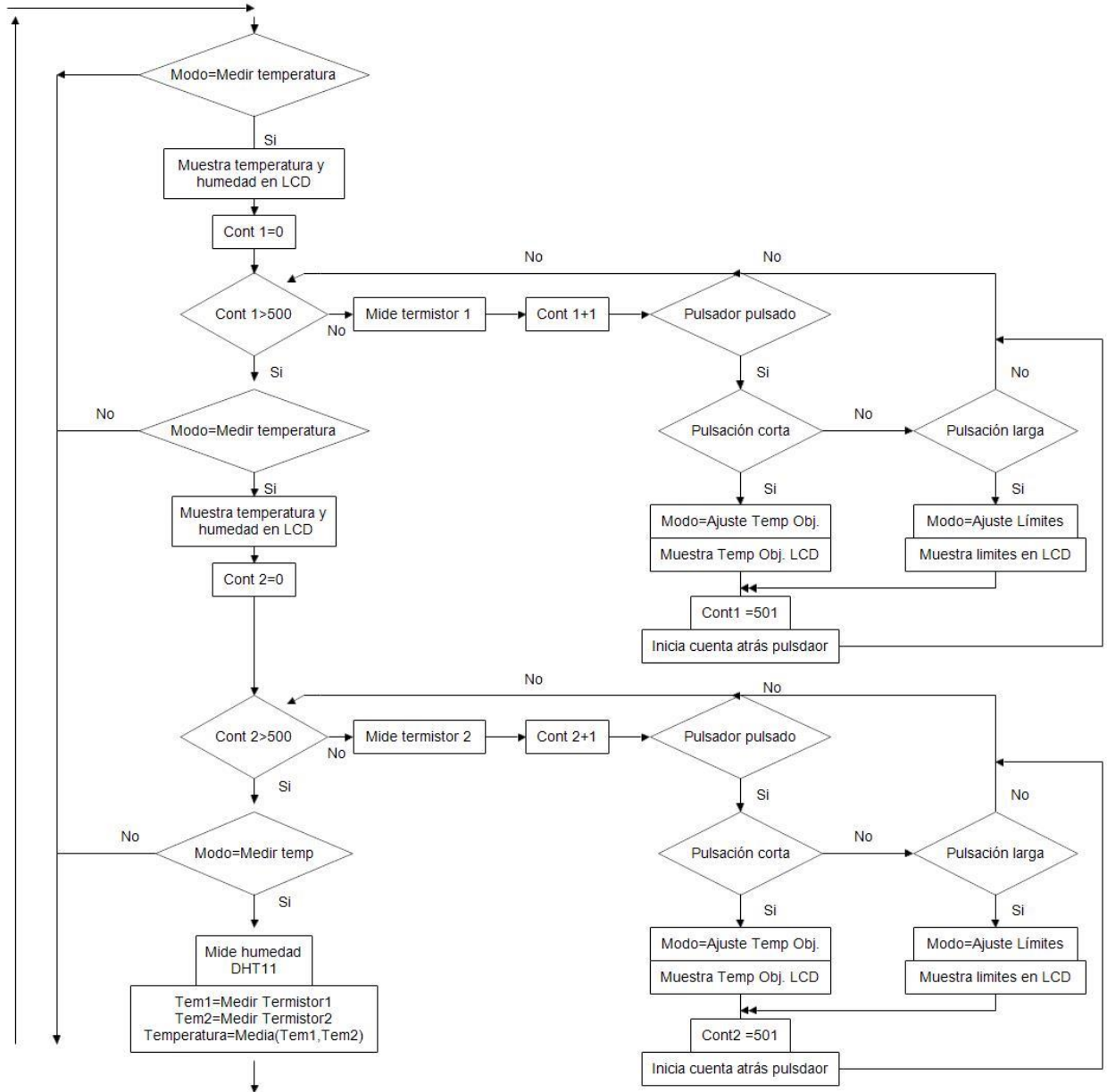
Lo primero mencionar que este programa tiene 3 modos de funcionamiento, según el modo en el que se encuentre ejecuta un programa u otro (estando todos ellos interrelacionados entre sí)

- El primer modo o modo Medir Temperatura, controla el termostato, por lo que mide la temperatura, la humedad y activa o no el sistema de aclimatación.
- El segundo modo o modo Ajuste Temp Obj, controla el cambio de Temperatura objetivo del termostato.
- El tercer modo o modo Ajuste Límites, controla el cambio de límites para el accionamiento del sistema de aclimatación.



5.1.1 Modo Medir Temperatura

Diagrama de Flujo 1 Medición termistores y DHT11



En este diagrama de flujo de medición de termistores y DHT11 se puede ver el proceso que sigue el programa para medir la temperatura y la humedad. Esta es la parte del modo Medir Temperatura que mide la temperatura y la humedad y la muestra por pantalla.

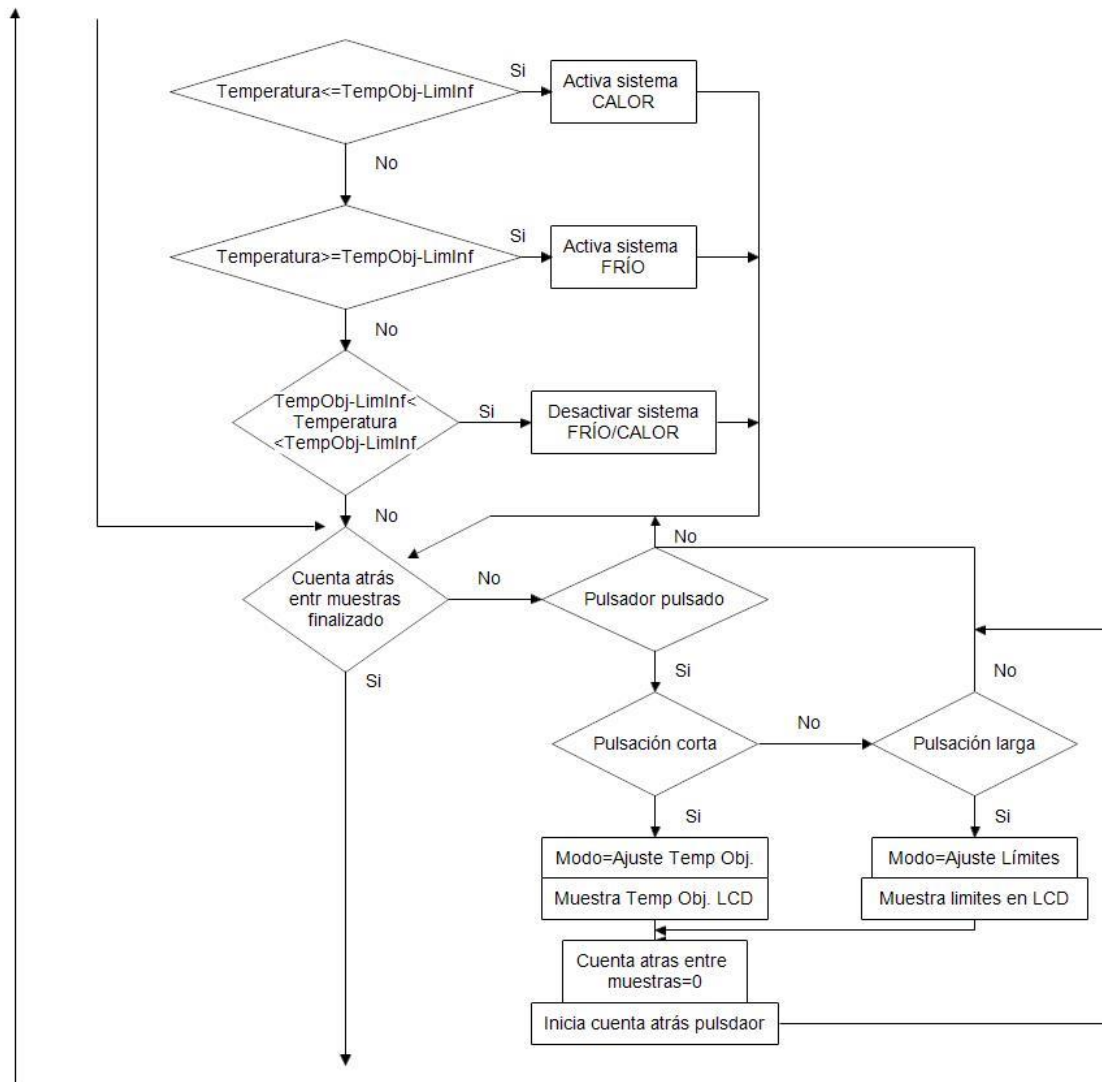
Como se puede ver cada medición consta de la media de 500 mediciones de cada termistor, de forma que se las variaciones que pueda haber se homogeneiza. Como se ha podido ver en el apartado 4.4.1.1 *Sensores utilizados* esta forma de homogeneizar medidas no es suficiente, por lo que se procedió a encapsular los termistores sumergidos en glicerol.

Por otro lado la temperatura que va a controlar el sistema de aclimatación va a ser la media de los dos termistores que se calcula en la parte final del diagrama de flujo 1.



En cada medición el programa comprueba si se pulsa el pulsador para cambiar de modo, si se pulsa de forma corta, cambiará al modo Ajuste Temp Obj., pero si se pulsa de forma prolongada cambiará al modo Ajuste Límites.

Diagrama de Flujo 2 Control sistema de aclimatación



Este Diagrama de flujo *Control sistema de aclimatación* es la segunda parte del modo de Medir Temperatura.

En esta parte como se indica en el nombre del diagrama, se controla el conjunto de aclimatación.

En función de la Temperatura Objetivo y los Límites el sistema estará en reposo, calentando o enfriando.

Si la temperatura media de los dos termistores es menor que la Temperatura Objetivo menos el límite inferior, se activa la función de calor.

Si la temperatura media de los dos termistores es mayor que la Temperatura Objetivo más el límite superior, se activa la función de frío.

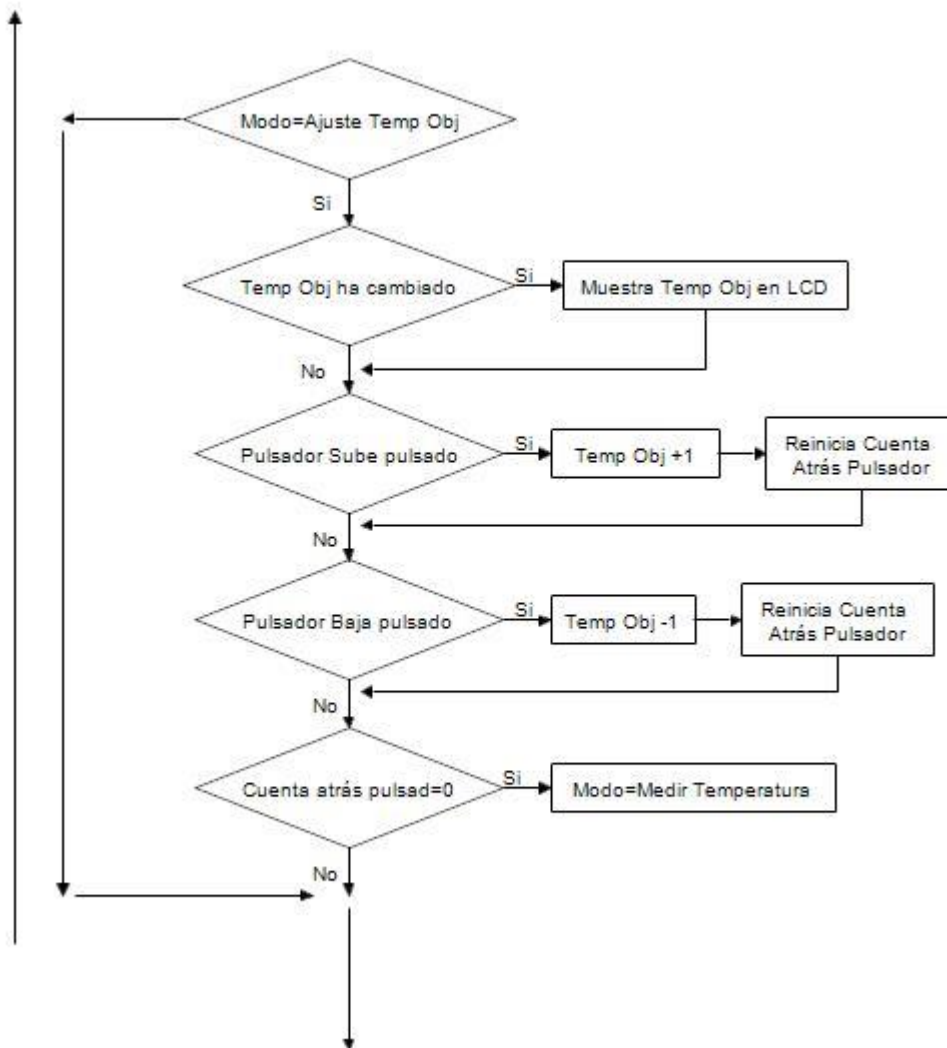


Si la temperatura media de los dos termistores se encuentra entre la Temperatura Objetivo menos el límite inferior y la Temperatura Objetivo más el límite superior el conjunto de aclimatación se encontrará en reposo.

Por último, al finalizar el modo, se vuelve a comprobar si se ha pulsado el Pulsador de cambio de modo. Si no se ha pulsado, no se cambia de modo, por lo que el programa comprueba que no está en los otros dos modos restantes y vuelve a ejecutar este modo hasta que se puse el Pulsador. En función de si ha sido un pulso corto o largo cambiará al modo Ajuste Temperatura Objetivo o al Ajuste Límites.

5.1.2 Modo Ajuste Temperatura Objetivo

Diagrama de Flujo 3 Modo Ajuste Temp. Obj.



Como se ha indicado anteriormente, si el pulso del Pulsador es corto, el modo cambia a modo Ajuste Temp. Obj. y comienza ejecutar esta parte del programa explicada en el diagrama de flujo *Modo Ajuste Temp. Obj.*

En esta parte primero se muestra la Temperatura Objetivo por pantalla, si esta es diferente de la Temperatura Objetivo guardada, se actualiza el LCD y muestra la Temperatura Objetivo actual.

Por otro lado se leen los 2 pulsadores asignados como de subida y bajada.



En el momento que se pulse el pulsador de subida, a la temperatura objetivo se le suma un grado más y se muestra por pantalla.

Por el contrario si se pulsa el pulsador de bajada, a la temperatura objetivo se le resta un grado y se vuelve a actualizar la salida del LCD

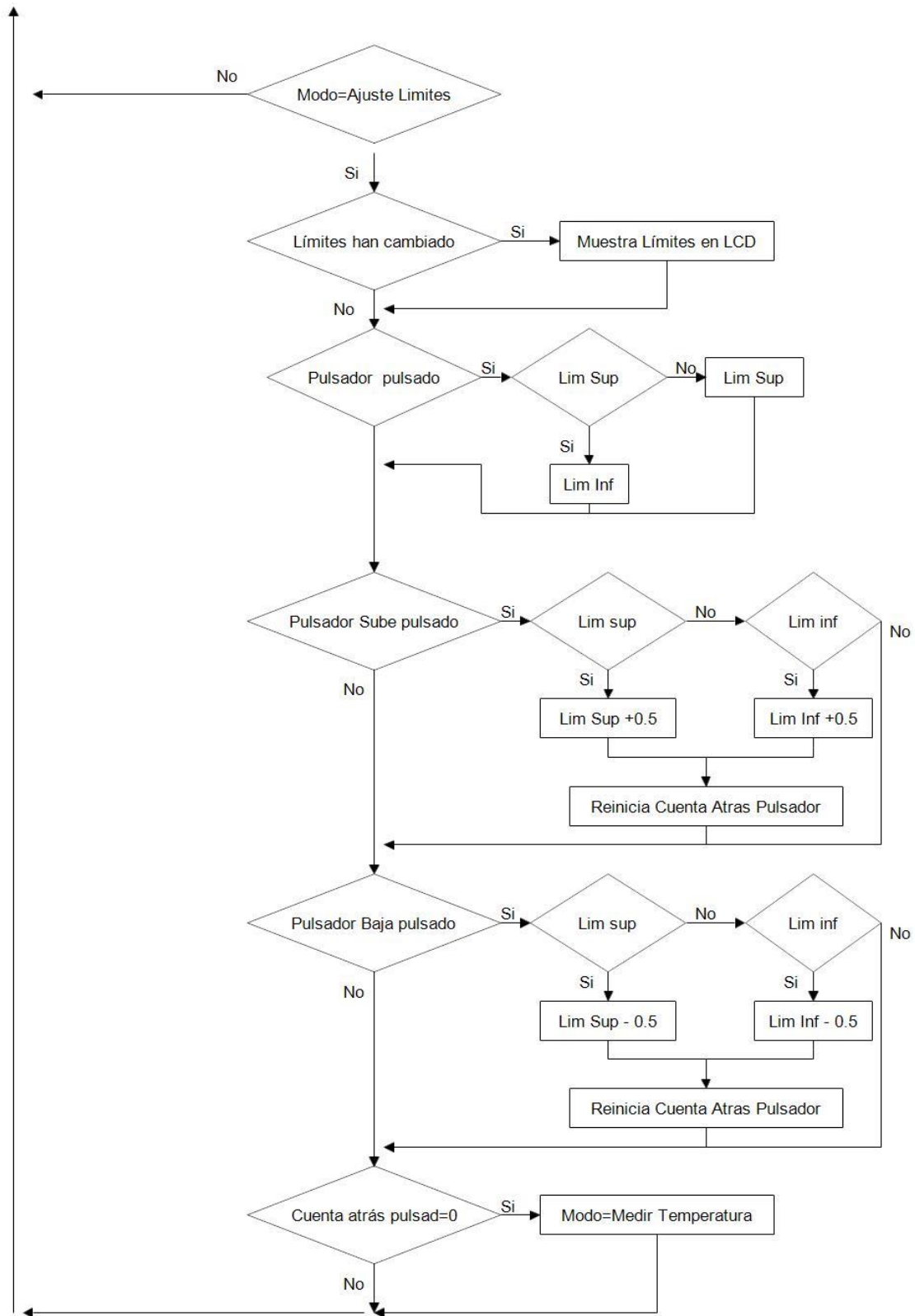
Además este modo tiene un contador, de forma que si no se pulsa ningún pulsador y este llega a 0, automáticamente cambia a modo Medir Temperatura. En el momento que se presiona un pulsador, este contador se reinicia.

En el momento que se cambie al modo Medir Temperatura, gracias a la actualización de la Temperatura Objetivo que se ha introducido, el sistema aclimatador actuará en función de esta nueva Temperatura objetivo. De esta forma se introduce la temperatura que deseamos que mantenga la incubadora.



5.1.3 Modo Ajuste Límites

Diagrama de Flujo 4 Modo Ajuste Límites



Como se ha explicado en los apartados anteriores en el momento que se pulsa el Pulsador de forma continuada, el modo Medir Temperatura cambia al modo Ajuste Límites.



En el diagrama de flujo 4 *Modo Ajuste Límites* se puede ver como se usa el mismo sistema para actualizar la pantalla LCD en el momento que se cambia algún valor.

En este modo, se van a ajustar los límites que se le da a la temperatura objetivo en el modo Medir Temperatura en la segunda parte del mismo para la activación del sistema de aclimatación.

Estos límites son los que van a facilitar que la temperatura interior se mueva dentro de un rango establecido, por lo que hay que introducir el límite inferior y el superior.

El límite inferior controla los grados que puede descender la temperatura interior de la incubadora en referencia a la temperatura objetivo para que se active la función calor.

Como es lógico, el límite superior controla, esta vez, los grados que puede aumentar la temperatura interior de la incubadora en referencia a la temperatura objetivo para que se active la función frío.

En este modo con el Pulsador, se controla si se cambia el límite superior o inferior.

Si se encuentra el programa en la posición de límite superior y se presiona el Pulsador, este cambia al límite inferior y viceversa.

Si se encuentra, por ejemplo, en el límite inferior y se presiona el Pulsador de subida, la temperatura límite asciende 0.5 grados, por el contrario si se pulsa el Pulsador de bajada, el límite se reduce en 0.5 grados.

Lo mismo sucede si se encuentra en la posición de límite superior.

Este modo, como el anterior, también cuenta con un contador que va registrando el tiempo que pasa sin pulsar ningún pulsador. Cuando el contador llega a 0, se pasa también al modo Medir Temperatura con los límites inferior y superior actualizados.

5.2 Consideraciones tenidas en cuenta para la programación

En este apartado se van a describir varias consideraciones que se han tenido que tener en cuenta para un buen funcionamiento del programa.

5.2.1 Rebote de pulsador

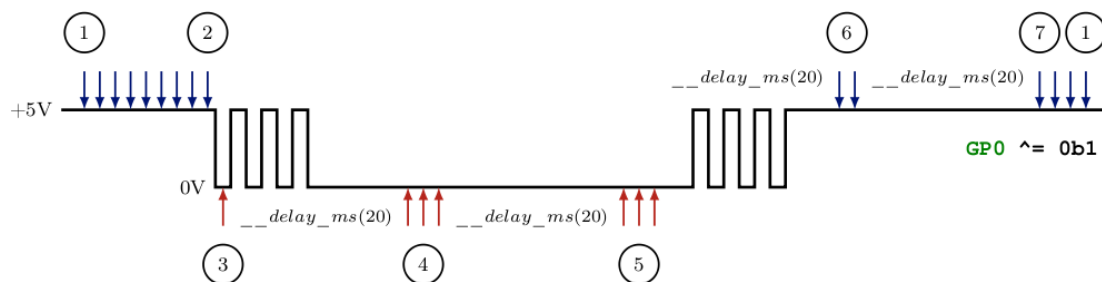


Figura 54 Rebote pulsador (Fuente <https://carferperati.wordpress.com>)



El rebote del pulsador es un fenómeno que se produce debido a que el pulsador es un elemento mecánico que cierra o abre un circuito siendo detectado por el micro controlador Arduino en este caso.

En la figura 54 se puede ver el fenómeno que sucede denominado rebote con mayor claridad.

En el momento 1-2 se decide presionar el pulsador, se acciona y hay unos milisegundos (3-4) en los que el circuito no se encuentra del todo abierto. Lo mismo ocurre al soltar el pulsador y cerrarse el circuito.

Dado que el Arduino trabaja con una precisión mayor a un milisegundo, y teniendo en cuenta que estas fases duran unos 20ms, es muy fácil que el programa no se ejecute de forma correcta.

Por ello hay que tener en cuenta estos rebotes. Para una lectura correcta de los pulsadores lo que se ha decidido hacer es darle un tiempo de 30 ms, es decir, si el pulsador se pulsa y sigue pulsado después de 30 ms, es que se ha pulsado realmente, si no, no lo detectará.

Lo mismo sucede para soltar el pulsador, por lo que se usará la misma estrategia que para detectar el pulso.

5.2.2 Programa termistores

En este apartado se va a explicar el programa utilizado para la conversión de medidas de resistencia de los termistores en grados centígrados.

Los cálculos aplicados se explican en el apartado 2.1.3 *sensor de temperatura*

Por un lado la beta si no se tiene se puede calcular como ya se explicará a continuación, pero en este caso es conocida, por lo que no se usarán dichos cálculos. De todas formas se han introducido en el programa por si se cambia de termistor y no se conoce el parámetro beta activar esos cálculos y no tener que cambiar todo el programa.

Este programa tiene varias partes.

La primera parte es la entrada de las variables para el cálculo de la temperatura en función de la resistencia por tanto:

```
float Vin1=4.92; // [V] Voltaje de entrada en el divisor de tensión
float Raux1=10000; // [ohm] Valor de la resistencia secundaria del divisor de tensión
float R01=100000; // [ohm] Valor de resistencia nominal del termistor (NTC) a 25°C
float T01=298.15; // [K] (25°C)

float Vout1=0.0; // [V] Voltage given by the Voltage-Divider
float Rout1=0.0; // [ohm] Resistencia actual del Termistor (NTC)

// Valores para calcular el valor Beta, si no lo sabemos
//float T1=273; // [K] Temperatura del 1º punto del test (en grados Kelvin)
//float T2=373; // [K] Temperatura del 2º punto del test (en grados Kelvin)
//float RT1=19750; // [ohms] Resistencia a 273K grados Kelvin (0°C)
//float RT2=2150; // [ohms] Resistencia a 373K grados Kelvin (100°C)

float beta1=0.0; // [K] Parámetro Beta
float Rinf1=0.0; // [ohm] Parámetros Rinf
float TempK1=0.0; // [K] Temperatura de salida en grados Kelvin
float TempC1=0.0; // [°C] Temperatura de salida en grados Celsius

int iCont1; // Contador de ciclos, para el cálculo de la temperatura media
float cTemp11; // Variable temporal para acumular las temperaturas leídas
```



Como se puede ver hay que introducir:

- El voltaje de alimentación
- Valor de la resistencia usada en el circuito
- Valor de la resistencia a 25º
- Cambio de unidad de kelvin a grados

Además se puede ver que hay una parte del programa con dos barras inclinadas (//) al inicio. Esas barras indican que esa parte es una anotación, es decir que no se va a ejecutar en el programa.

Con estas barras se ha anulado las variables para el cálculo de beta, pero simplemente eliminadoras, se conseguiría que se activasen.

También se generan varias variables que posteriormente se usarán.

Por otro lado está la parte del programa que solo se ejecuta la primera vez que se inicia.

```
// Configuramos el pin del Arduino en entrada
pinMode(analogPin1, INPUT);
// Parametros generales para el calculo
// Formula para calcular el valor beta si no disponemos de el
// beta=(log(RT1/RT2))/((1/T1)-(1/T2));
// Valor beta, los fabricantes suelen disponer ya de este valor,
// mirar en la tabla de características del termistor
beta1 = 3950;
Rinf1=R01*exp(-beta1/T01);
```

Estas líneas de programación solo se ejecutan la primera vez que se activa el programa, por lo que es el lugar ideal para calcular la beta, puesto que una vez calculada, siempre va a ser la misma.

Como se puede ver en las líneas, también hay una parte que empieza con la doble barra inclinada. Es en esta parte donde se calcula el parámetro beta. Como se puede ver, además, ya hay una beta1 con un valor determinado sin la doble barra inclinada inicial. Esta es la beta que se va a usar y que se sabía de antemano.

Por último se tiene la parte del programa que se ejecuta cíclicamente en la cual se está calculando todo el rato la temperatura a partir de la resistencia medida.

```
cTemp11=0;
for (iCont1 = 1; iCont1 <= 500; iCont1 ++)
{
// Cálculo del valor de la resistencia termistor (NTC) actual (a través de Vout)
Vout1=Vin1*((float)(analogRead(analogPin1))/1024.0);
Rout1=(Raux1*Vout1/(Vin1-Vout1));

// Calculo de la temperatura en grados Kelvin
TempK1=(beta1/log(Rout1/Rinf1));
// Calculo de la temperatura en grados Celsius
TempC1=TempK1-273.15;
```

En este apartado hay un bucle de 500 ciclos que ya se ha explicado en el apartado anterior el porqué del mismo.

Lo importante son los cálculos que ocurren en su interior.



Lo primero que hace el programa es calcular la resistencia que tiene el termistor en ese instante, luego se convierte esa resistencia en grados kelvin y por último se transforman estas unidades en grados centígrados.

Este proceso se lleva a cabo para los dos termistores y posteriormente se realiza una media de ambos, de forma que, será esa temperatura media la que se compare con la temperatura objetivo para la activación o no del sistema de aclimatación.

El programa completo se puede ver en el *Anejo 2 Programa incubadora*

5.2.3 Librerías usadas

Una librería como se ha explicado anteriormente es un fichero de código la que se va a llamar desde un programa hecho para Arduino. Este desempeñará una función concreta, simplificando los comandos de control de cualquier elemento a controlar y cuya librería se ha instalado y llamado.

Por tanto una librería no es más que líneas a las que se les llama para controlar un elemento en concreto con comandos más simples. Estos comandos se definen dentro de la librería.

Por lo tanto, en este proyecto, han sido necesario añadir tres bloques de librería

- Control del DHT11
`#include <DHT11.h>`
- Control LCD
`#include <Wire.h>`
`#include <LCD.h>`
`#include <LiquidCrystal_I2C.h>`
- Para cálculos termistor
`#include <stdio.h>`
`#include <math.h>`

El comando `#include` se utiliza para cargar la librería una vez instalada.



6. Presupuesto

A continuación se mostrará un cuadro en el que se resumen los costes del prototipo.

Cuadro 6 Presupuesto

Producto	Comentario	€	Unidad	Usados	Total €
Caja contenedora y tapa					
Tirafondo 6x60mm	Union caja poliespan	0,125	unidad	18	2,25
Arandelas 5mm int	Conjunto doble metacrilato	0,059	unidad	12	0,70
Poliest. Ext. 30mm	Material de la caja	2,600	m2	0,3911	1,02
Metacrilato 2mm	Doble metacrilato para tapa	21,760	m2	0,175	3,81
Tornillo cab avellanada plana15x4	Acristalamiento	0,030	unidad	4	0,12
Rosca 4mm	Roscar tornillos	0,010	unidad	4	0,04
Conjunto calentador/enfriador					
TEC1-12706 50 ~ 72W	Semiconductor termoeléctrico Peltier Enfriador Calentador	3,400	unidad	1	3,40
Ventilador de Refrigeracion Enfriador Disipador	Interior incubadora	2,220	unidad	1	2,22
FANDURONTB - Disipador con ventilador	Exterir incubadora	9,950	unidad	1	9,95
Tornillo cab avellanada plana 4X30	Conjunto disipador ventilador	0,106	unidad	2	0,21
Tornillo cab avellanada plana 4X25	Conjunto disipador ventilador	0,080	unidad	2	0,16
Elementos eléctricos/electrónicos					
Arduino UNO	Control incubadora	7,950	unidad	1	7,95
LEORX Fuente de Alimentación de 12V 6A	Fuente de alimentación	16,890	Unidad	1	16,89
Termistor 100k	Sensor de temperatura	0,363	unidad	2	0,73
DHT11	Sensor de humedad	0,810	unidad	1	0,81
5V 4-Canal Modulo rele Shield for Arduino	Módulo de 4 relés	3,540	unidad	1	3,54
Pulsadores	Controlan el programa	0,130	unidad	3	0,39
Resistencias varias	Pulsadores y termistores	0,030	unidad	7	0,21
LCD 1602 + i2c	Pantalla y adaptador	3,570	unidad	1	3,57
LM317T	Regulador de tensión	0,230	unidad	1	0,23
PCB perforada 50x70mm	Placa para circuitos	0,150	unidad	1	0,15
Condensador 220 nF	Para el regulador de tensión	0,009	unidad	2	0,02
Total					58,36

Como se puede ver en el Cuadro 6 Planos, después de contabilizar el total de elementos utilizados para la construcción del prototipo, se ha contabilizado un gasto total de 58,36€.

Teniendo en cuenta que las incubadoras existentes y comentadas en este proyecto rondan los 200/250€, esta es una muy buena alternativa para el pequeño usuario.

Hay que tener en cuenta que en este presupuesto no se ha incluido el coste de fabricación, pero también se deberá tener en cuenta que estos precios, son a nivel usuario. En una producción en



cadena, donde los elementos se adquieren a granel, el precio total de los mismos desciende considerablemente.

Por otro lado, en una producción industrial, la calidad del mismo aumentará puesto que se trabajará con herramientas específicas para cada trabajo y/o material.

En resumen, el objetivo determinado inicialmente de diseño de una incubadora de huevos de reptil con un coste reducido se ha alcanzado satisfactoriamente.

7. Posibles mejoras para el futuro

En este apartado se va a describir brevemente un listado de posibles líneas de mejora para este proyecto.

Mejoras

Caja contenedora de una pieza y con carcasa externa e interna de forma que el cableado pueda pasar entre ellas.

Tapa de la caja contenedora, igual que en el punto anterior, con carcasa.

Diseño de recipientes individuales para colocar en el interior de la incubadora y llenarlos de agua o no en función de la humedad ambiental interna. De esta forma se puede controlar la humedad de forma fácil y económica.

Diseño de control de ventiladores de los disipadores del conjunto de aclimatación para que giren en función de su necesidad. Es decir que el ventilador que en ese momento se encargue de disipar el lado caliente, gire con una velocidad proporcional a la temperatura que tiene que disipar. Además en el momento de apagado del conjunto, sería bueno que el ventilador del lado caliente siga funcionando para que no se sobrecaliente la placa Peltier.

Libertad para poner una función noche. De esta forma se pueden poner 2 ciclos, uno imitando al día con temperaturas algo mayores y otro de noche con temperaturas ligeramente menores.

8. Conclusión

Este proyecto tiene dos objetivos principales a cumplir.

El primer objetivo era el diseño de una incubadora de huevos de reptil funcional. Como se ha podido comprobar a lo largo del proyecto, esta incubadora tiene características, en algunos casos, superiores a las incubadoras tenidas como referencia. Por ejemplo la temperatura medida tiene mayor resolución que estas.

Además incrementando levemente el presupuesto de esta incubadora se le pueden añadir elementos que hagan diferenciarse considerablemente de las incubadoras de referencia en cuanto a calidad y prestaciones.

El otro objetivo principal era el de cumplir el objetivo anterior con un presupuesto reducido. Como se ha podido ver en el apartado anterior este objetivo se ha cumplido con creces. Además como se explica, este presupuesto se podría reducir considerablemente en una producción en cadena.



Por lo tanto este proyecto demuestra que es factible la construcción de una incubadora de huevos de reptil a coste reducido sin descuidar la funcionalidad, precisión y efectividad de la misma.

9. Bibliografía

Conexiones, programación Arduino y librerías:

<http://www.prometec.net/>

<https://www.arduino.cc/>

<http://descubrearduino.com/>

Conexiones Puente H NPN

<http://www.prometec.net/>

<https://es.wikipedia.org/>

<http://panamahitek.com/el-puente-h-invirtiendol-sentido-de-giro-de-un-motor-con-arduino/>

Conexiones Puente H PNP

<http://fuhrer-luftwaffe.blogspot.com.es/2009/04/puente-h-con-transistores-pnp.html>

Listado de transistores

http://www.micropik.com/pag_transistores.htm

Información reptiles

<http://www.iguania.com/>

Información incubadoras

<http://www.exo-terra.com/es>

<https://www.rcom-company.com>

Anejo 1 Planos

Diseño y prototipado de una incubadora de
huevos de reptil

Xabier Urra Martínez



Índice

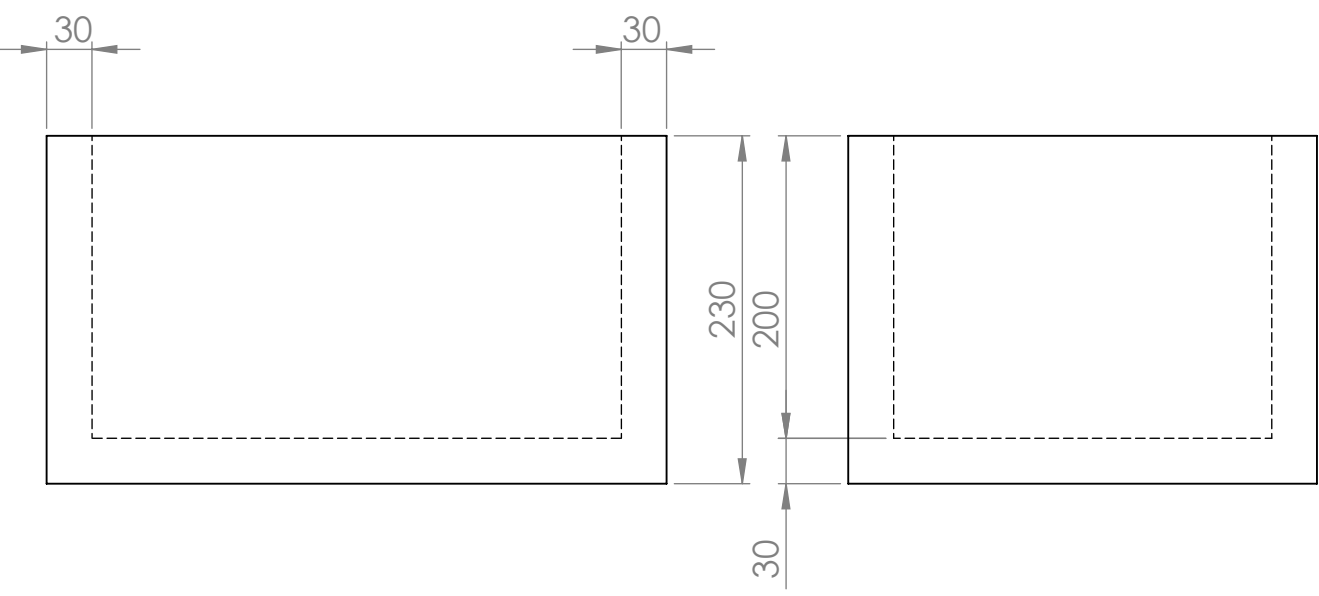
Caja con cierre exterior.....	1
Caja con cierre interior.....	2
Tapa cierre exterior.....	3
Tapa cierre interior.....	4
Disipador CPU.....	5
Pieza 1 disipador.....	6
Entredisipadores.....	7
Palier.....	8
Marco botonera y LCD.....	9



4 3 2 1

F

F

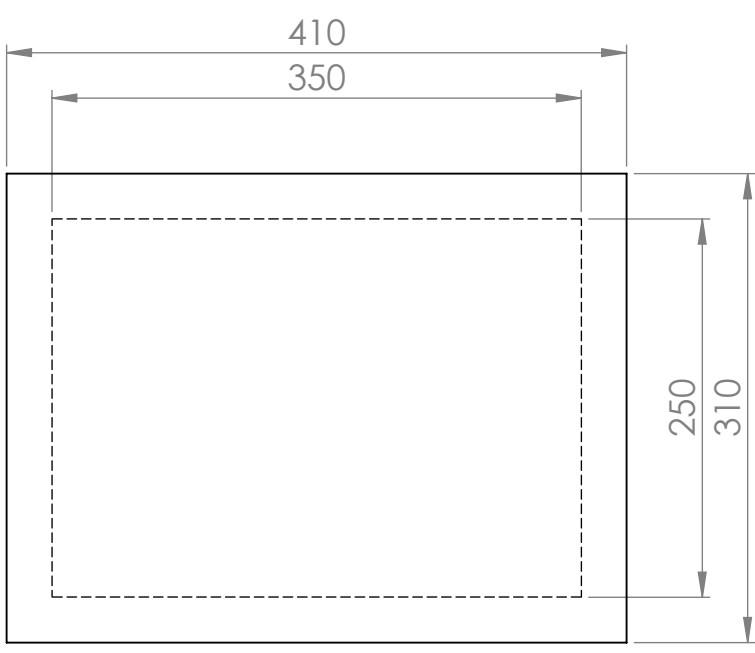


E

E

D

D



C

C

B

B



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
 Agralimentaria y del Medio Rural
 Proyecto Fin de Grado

A

A

AUTOR XABIER URRRA MARTÍNEZ		FIRMA		PROYECTO Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil			
TUTOR MIGUEL ANGEL CAMPO		MENCIÓN MEDIO RURAL		TÍTULO DEL DIBUJO Caja cierre exterior			
		MATERIAL POLIESPAN		ÚLTIMA REVISIÓN 28/06/2016		ESCALA: 1:10	PLANO 01/ 09

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

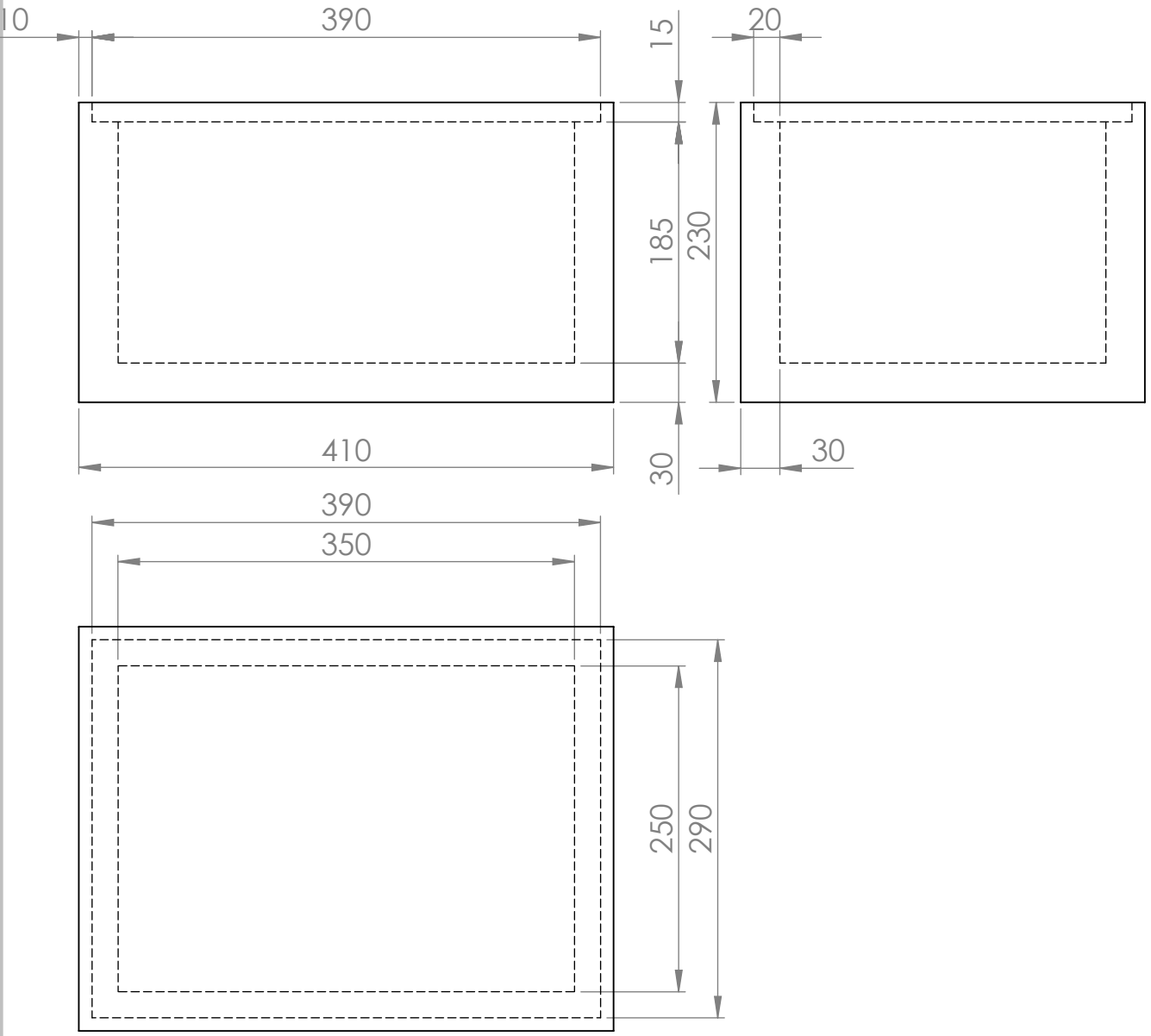
D

C

C

B

B



upna



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
Agrícola y del Medio Rural
Proyecto Fin de Grado

AUTOR FIRMA

XABIER URRA
MARTÍNEZ

PROYECTO Diseño y prototipado de incubadora
de huevos de reptil

TÍTULO DEL DIBUJO

Caja cierre interior

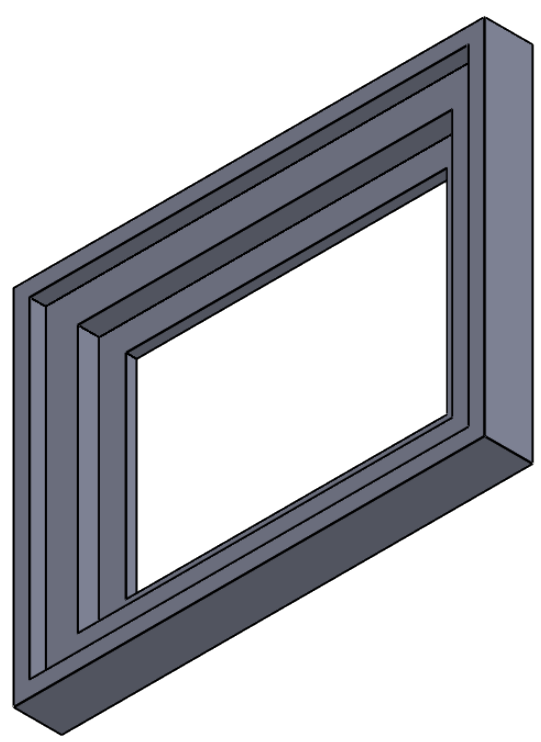
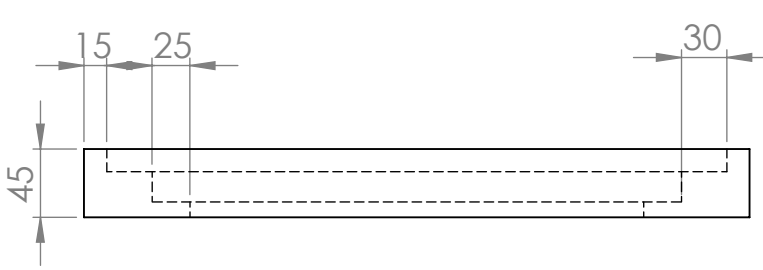
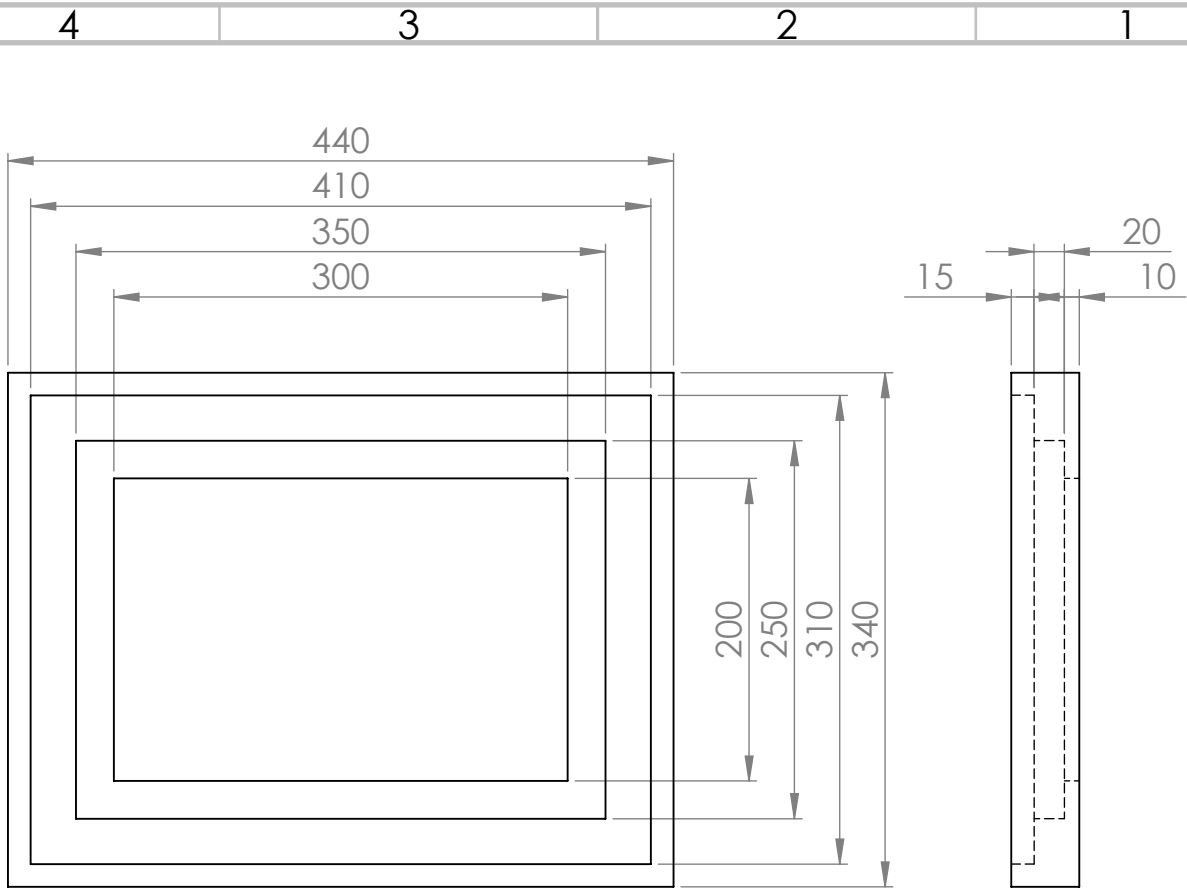
TUTOR MENCIÓN
MIGUEL ANGEL CAMPO MEDIO RURAL

MATERIAL POLIESPAN ÚLTIMA REVISIÓN 28/06/2016 ESCALA: 1:5 PLANO 02/ 09

4 3 2 1

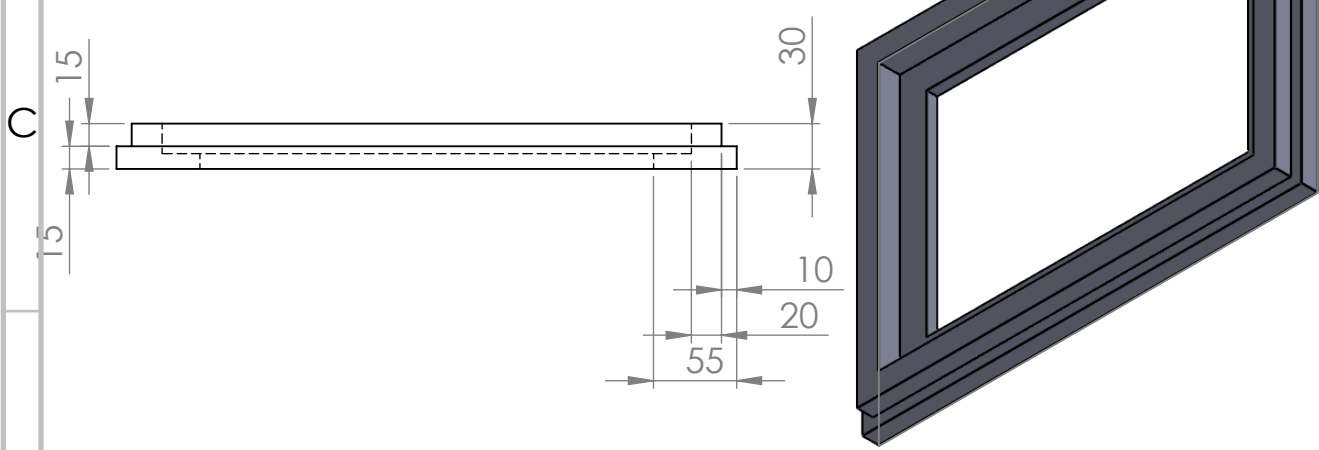
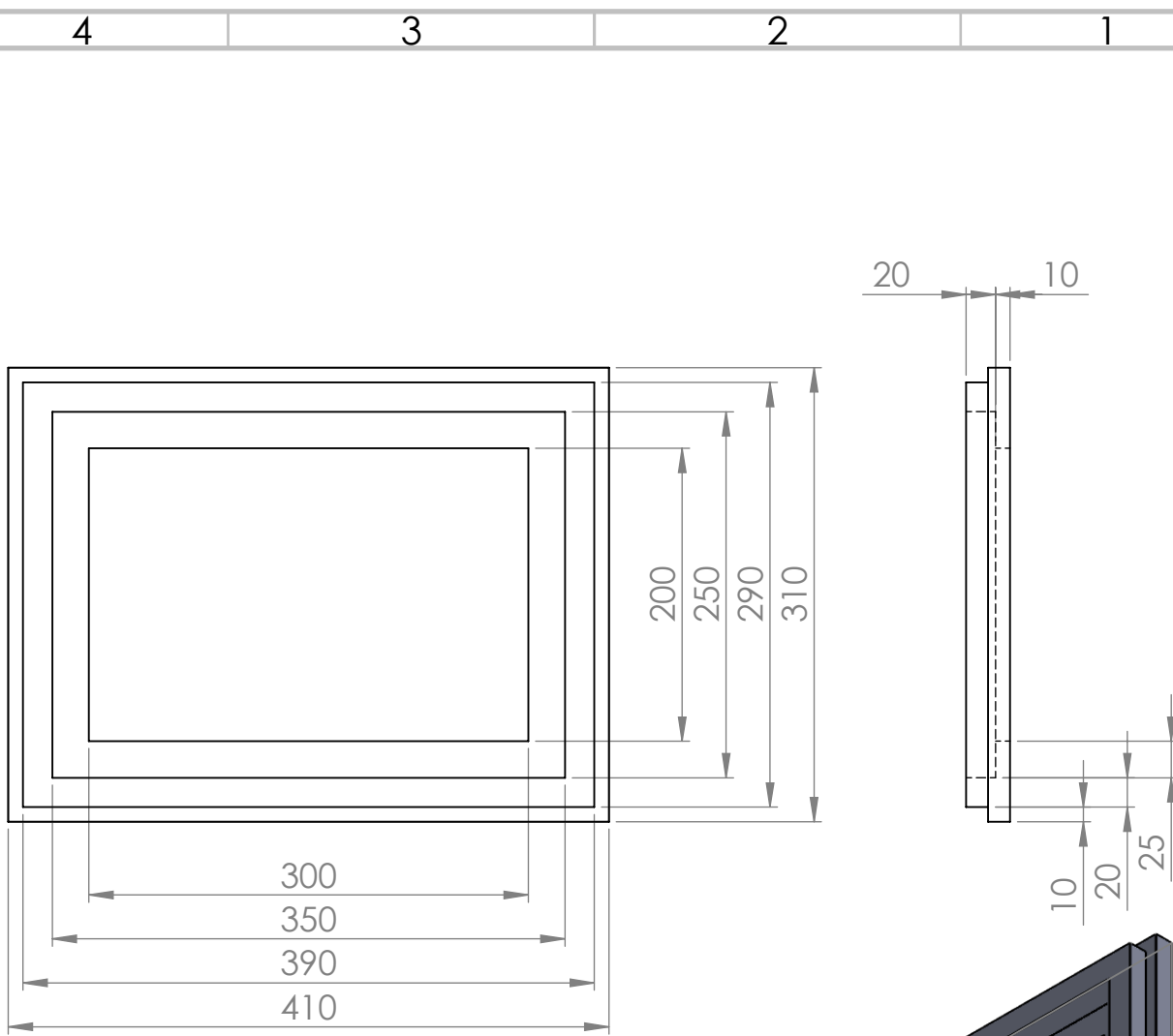
A

A



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
Agralimentaria y del Medio Rural
Proyecto Fin de Grado

AUTOR XABIER URR MARTÍNEZ		FIRMA	PROYECTO Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil	
TUTOR MIGUEL ANGEL CAMPO		MENCIÓN MEDIO RURAL		TÍTULO DEL DIBUJO Tapa cierre exterior
MATERIAL POLIESPAN		ÚLTIMA REVISIÓN 28/06/2016		ESCALA:1:5 PLANO 03/ 09



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
 Agralimentaria y del Medio Rural
 Proyecto Fin de Grado

AUTOR XABIER URRA MARTÍNEZ		FIRMA	PROYECTO Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil	
TUTOR MIGUEL ANGEL CAMPO		MENCIÓN MEDIO RURAL		TÍTULO DEL DIBUJO Tapa cierre interior
MATERIAL POLIESPAN		ÚLTIMA REVISIÓN 28/06/2016		ESCALA:1:5 PLANO 04/ 09

A

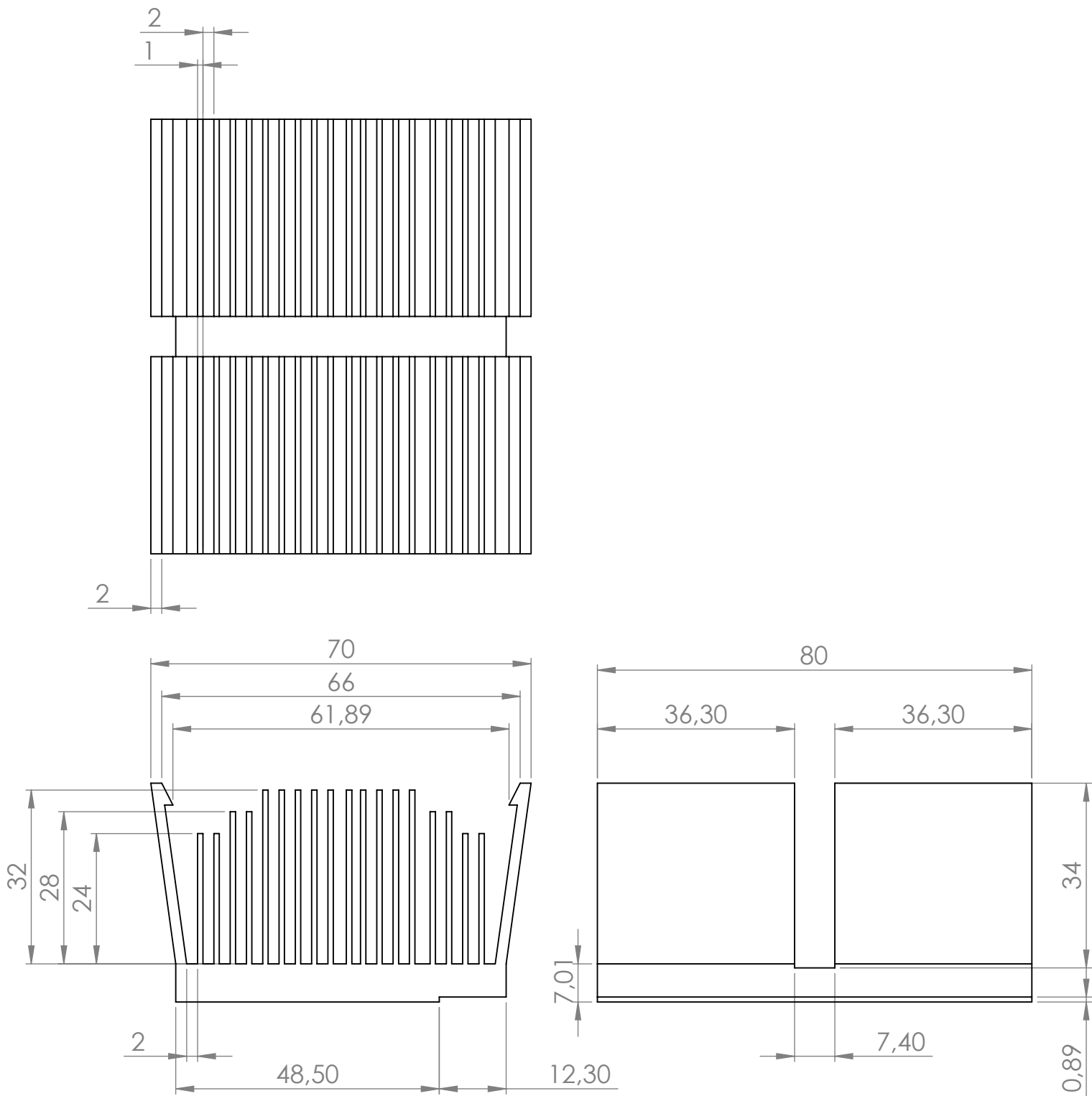
A

4

3

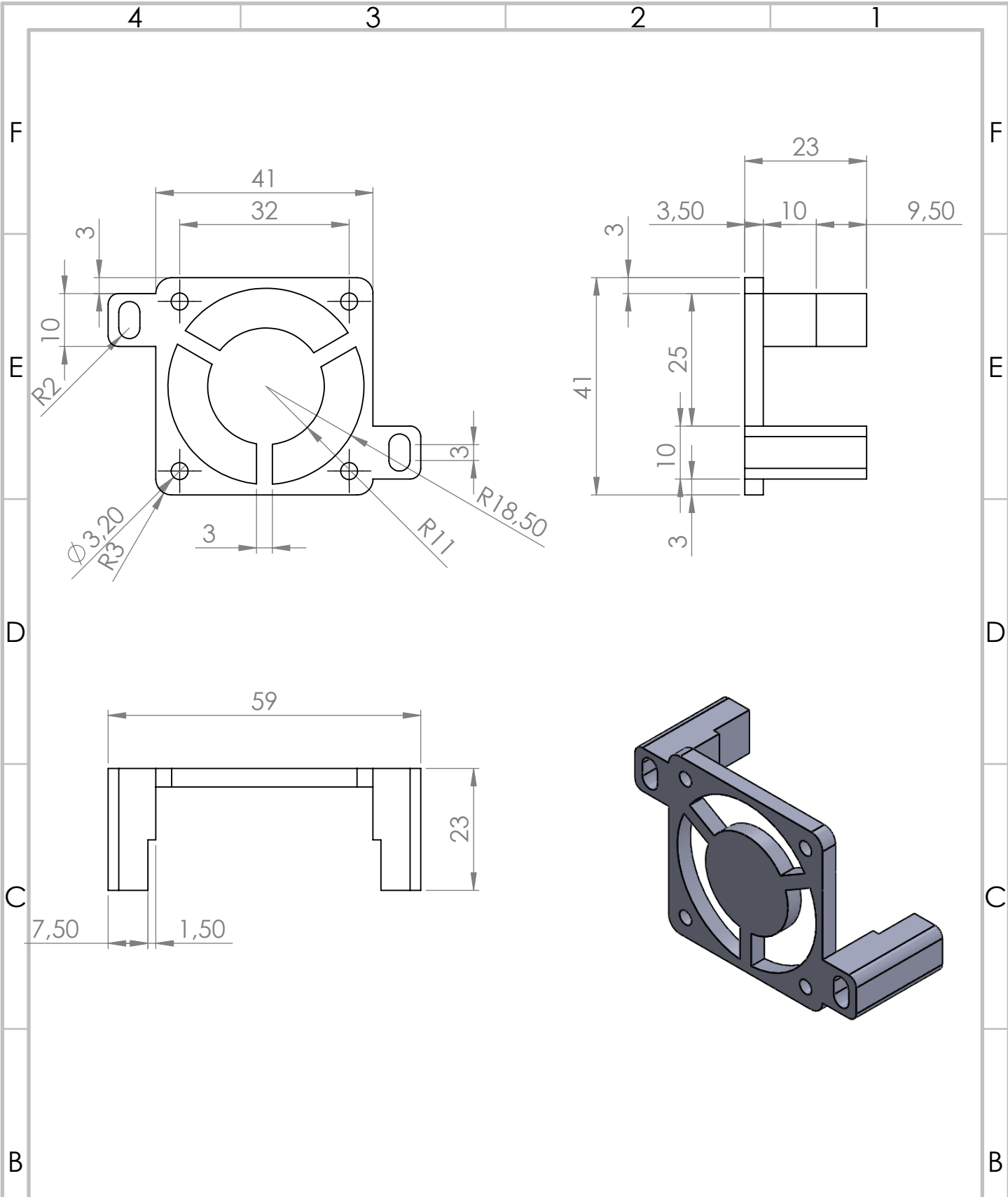
2

1



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
Agroalimentaria y del Medio Rural
Proyecto Fin de Grado

AUTOR		FIRMA		PROYECTO	
XABIER URRA MARTÍNEZ				Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil	
TUTOR		MENCIÓN		TÍTULO DEL DIBUJO	
MIGUEL ANGEL CAMPO		MEDIO RURAL		Disipador CPU	
MATERIAL		ALUMINIO		ÚLTIMA REVISIÓN	
				28/06/2016	
				ESCALA: 1:1	
				PLANO 05/ 09	



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
 Agralimentaria y del Medio Rural
 Proyecto Fin de Grado

AUTOR		FIRMA		PROYECTO		Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil	
XABIER URRRA MARTINEZ				TÍTULO DEL DIBUJO		Pieza 1 disipador	
TUTOR	MENCIÓN	MATERIAL	ÚLTIMA REVISIÓN	ESCALA:	PLANO		
MIGUEL ANGEL CAMPO	MEDIO RURAL	PLÁSTICO PLA	28/06/2016	1:1	06/09		

4 3 2 1

F

F

E

E

D

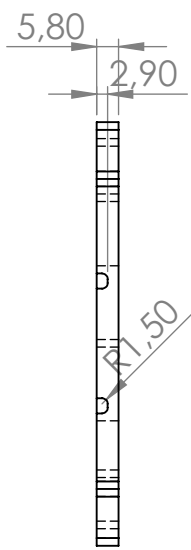
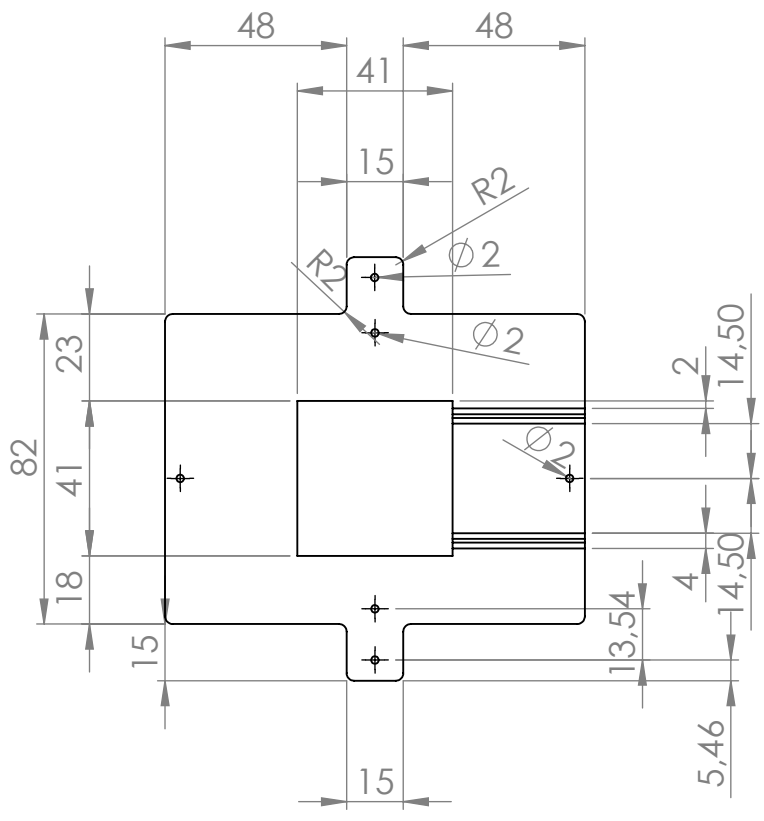
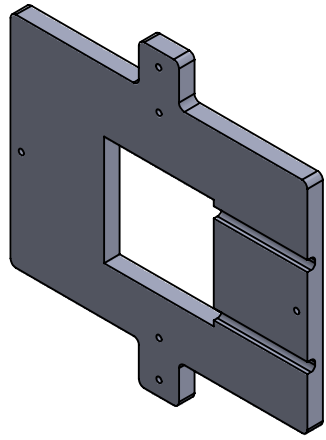
D

C

C

B

B



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
 Agralimentaria y del Medio Rural
 Proyecto Fin de Grado

A

A

AUTOR: XABIER URRA MARTÍNEZ
 FIRMA: [Signature area]

PROYECTO: Diseño y prototipado de incubadora de huevos de reptil

TÍTULO DEL DIBUJO: Entredisipadores

TUTOR: MIGUEL ANGEL CAMPO
 MENCIÓN: MEDIO RURAL

MATERIAL: PLÁSTICO PLA

ÚLTIMA REVISIÓN: 28/06/2016

ESCALA: 1:2

PLANO 07/ 09

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

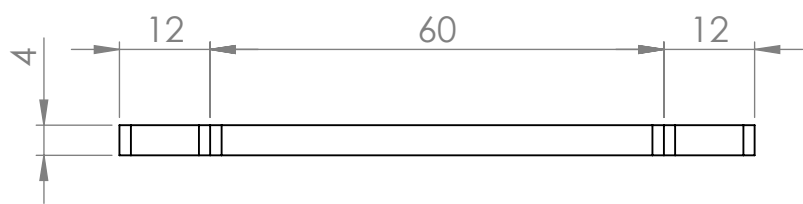
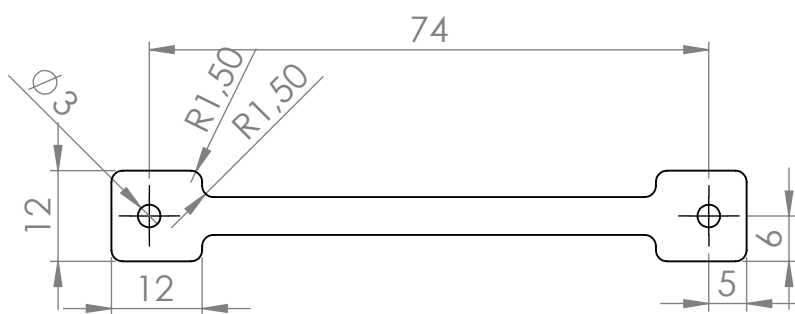
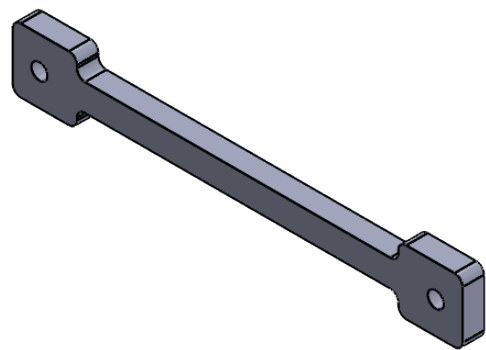
C

B

B

A

A



upna



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
Agralimentaria y del Medio Rural
Proyecto Fin de Grado

AUTOR
**XABIER URRRA
MARTÍNEZ**

FIRMA

PROYECTO **Diseño y prototipado de incubadora
de huevos de reptil**

TÍTULO DEL DIBUJO

Palier

TUTOR
MIGUEL ANGEL CAMPO

MENCIÓN
MEDIO RURAL

MATERIAL
PLÁSTICO PLA

ÚLTIMA REVISIÓN
28/06/2016

ESCALA:1:1

PLANO 08/ 09

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

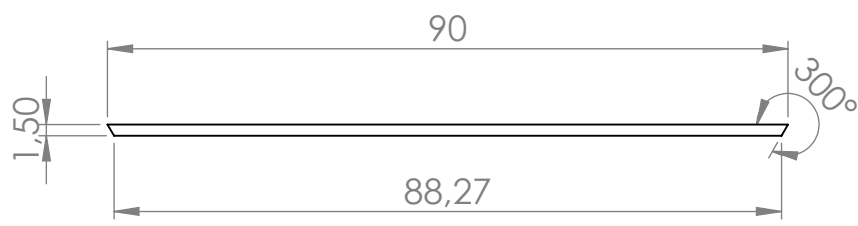
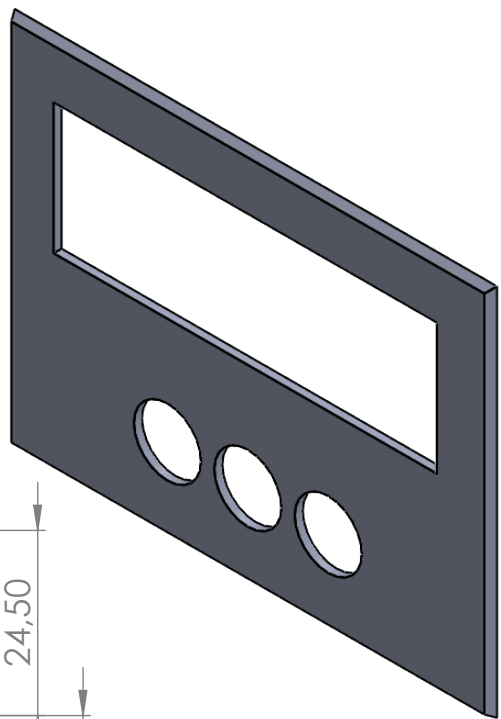
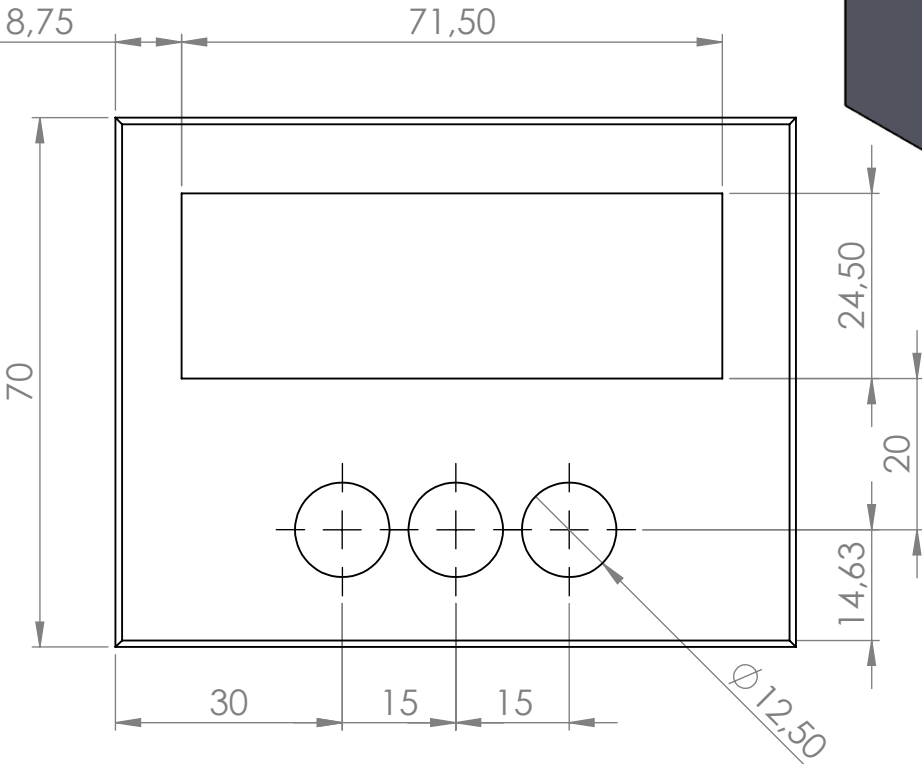
C

B

B

A

A



Curso 2015/2016 Grado Ingeniería
Agrloalimentaria y del Medio Rural
Proyecto Fin de Grado

AUTOR
**XABIER URRÁ
MARTÍNEZ**

FIRMA

PROYECTO **Diseño y prototipado de incubadora
de huevos de reptil**

TÍTULO DEL DIBUJO **Marco botones y LCD**

TUTOR
MIGUEL ANGEL CAMPO

MENCIÓN
MEDIO RURAL

MATERIAL **PLÁSTICO PLA** ÚLTIMA REVISIÓN **28/06/2016** ESCALA: 1:1 PLANO 09/ 09

4 3 2 1

Anejo 2 Programa Incubadora

Diseño y prototipado de una incubadora de
huevos de reptil

Xabier Urra Martínez



```
//////////////////////////////////////
//
// ESTRUCTURA PRICIPAL DEL PROGRAMA. CONSTA DE 3 MODOS DE TRABAJO:
//
// - MODO DE MEDIR LA TEMPERATURA: MUESTRA POR PANTALLA LA TEMPERATURA
//           MIDE LA TEMPERATURA DEL SENSOR 1
//           MIDE LA TEMPERATURA DEL SENSOR 2
//           ACTIVA LOS RELÉS CORRESPONDIENTES
//
// - MODO DE AJUSTE DE LA TEMPERATURA OBJETIVO
//
// - MODO DE AJUSTE DE LOS LIMITES SUPERIOR E INFERIOR
//
//////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////LIBRERIA DHT11 Y VARIABLES//////////////////////////////////////

#include <DHT11.h>

int humedad=2;
float temp, hum;
DHT11 dht11(humedad);
//////////////////////////////////////LIBRERIA LCD Y VARIABLES//////////////////////////////////////

#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

byte dir = 0x27; // Ese 0x significa que es hexadecimal, no decimal

// creamos una instancia del objeto LiquidCrystal_I2C:
LiquidCrystal_I2C lcd( dir, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);

//////////////////////////////////////LIBRERIA PARA CALCULOS TERMISTOR//////////////////////////////////////

#include <stdio.h>
#include <math.h>

//////////////////////////////////////variables de los relés para cambio de polaridad//////////////////////////////////////
#define relepos 9
#define releneg 8
#define relestop 10

////////////////////////////////////// Define el tiempo de espera entre medidas de temperatura
#define tiempo_entre_muestra 2000
////////////////////////////////////// Define el tiempo limite para salir del modo de ajuste de la temp objetivo o del modo cambio de límites, para volver al
modo de medir temp.
#define tiempo_limite_modo_botones 10000

////////////////////////////////////// define los Modos de trabajo
#define MedirTemperatura 100
#define AjusteTempObjetivo 200
#define CambioLimites 300

//////////////////////////////////////Variables para cambio de temperatura objetivo//////////////////////////////////////
#define pulsador 7 //variable pulsador para pantalla
#define pulsadorsube 6 //variable para pulsador para subir temperatura
#define pulsadorbaja 5 //variable para pulsador para bajar temperatura

// Variables para cambiar de modos de ejecución de trabajo y límites de temperatura
int Modo = MedirTemperatura;
float temperatura;
int temperaturaobjetivo=25;
int temperaturaobjetivo_aux=temperaturaobjetivo;
float LimiteSuperior = 2.0;
float LimiteSuperior_Aux = LimiteSuperior;
float LimiteInferior = 2.0;
float LimiteInferior_Aux = LimiteInferior;
boolean AjusteLimSup = true;
unsigned long tiempo_ref_modo_botones;
unsigned long tiempo_ref_modo_temp;
```



```

int analogPin1=1; // Pin donde esta conectado el divisor de tensión en el Arduino
int analogPin2=2;
/////1 termistor
float Vin1=4.92; // [V] Voltaje de entrada en el divisor de tensión
float Raux1=10000; // [ohm] Valor de la resistencia secundaria del divisor de tensión
float R01=100000; // [ohm] Valor de resistencia nominal del termistor (NTC) a 25°C
float T01=298.15; // [K] (25°C)

float Vout1=0.0; // [V] Voltage given by the Voltage-Divider
float Rout1=0.0; // [ohm] Resistencia actual del Termistor (NTC)

// Valores para calcular el valor Beta, si no lo sabemos
//float T1=273; // [K] Temperatura del 1º punto del test (en grados Kelvin)
//float T2=373; // [K] Temperatura del 2º punto del test (en grados Kelvin)
//float RT1=19750; // [ohms] Resistencia a 273K grados Kelvin (0°C)
//float RT2=2150; // [ohms] Resistencia a 373K grados Kelvin (100°C)

float beta1=0.0; // [K] Parámetro Beta
float Rinf1=0.0; // [ohm] Parámetros Rinf
float TempK1=0.0; // [K] Temperatura de salida en grados Kelvin
float TempC1=0.0; // [°C] Temperatura de salida en grados Celsius

int iCont1; // Contador de ciclos, para el cálculo de la temperatura media
float cTemp11; // Variable temporal para acumular las temperaturas leídas
/////2 Termistor
float Vin2=4.92; // [V] Voltaje de entrada en el divisor de tensión
float Raux2=10000; // [ohm] Valor de la resistencia secundaria del divisor de tensión
float R02=100000; // [ohm] Valor de resistencia nominal del termistor (NTC) a 25°C
float T02=298.15; // [K] (25°C)

float Vout2=0.0; // [V] Voltage given by the Voltage-Divider
float Rout2=0.0; // [ohm] Resistencia actual del Termistor (NTC)

// Valores para calcular el valor Beta, si no lo sabemos
//float T1=273; // [K] Temperatura del 1º punto del test (en grados Kelvin)
//float T2=373; // [K] Temperatura del 2º punto del test (en grados Kelvin)
//float RT1=19750; // [ohms] Resistencia a 273K grados Kelvin (0°C)
//float RT2=2150; // [ohms] Resistencia a 373K grados Kelvin (100°C)

float beta2=0.0; // [K] Parámetro Beta
float Rinf2=0.0; // [ohm] Parámetros Rinf
float TempK2=0.0; // [K] Temperatura de salida en grados Kelvin
float TempC2=0.0; // [°C] Temperatura de salida en grados Celsius

int iCont2; // Contador de ciclos, para el cálculo de la temperatura media
float cTemp12; // Variable temporal para acumular las temperaturas leídas

void setup() {
// Configuramos el puerto Serie
Serial.begin(9600);
/////Configuramos el LCD////////////////////////////////////7
lcd.begin (16,2); // Inicializar el display con 16 caracteres 2 lineas
lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
lcd.setBacklight(HIGH);
/////Termistor 1////////////////////////////////////
// Configuramos el pin del Arduino en entrada
pinMode(analogPin1, INPUT);

// Parametros generales para el calculo
// Formula para calcular el valor beta si no disponemos de el
// beta=(log(RT1/RT2))/((1/T1)-(1/T2));
// Valor beta, los fabricantes suelen disponer ya de este valor,
// mirar en la tabla de carateristicas del termistor
beta1 = 3950;
Rinf1=R01*exp(-beta1/T01);

```



```

////Termistor 2////////////////////////////////////

// Configuramos el pin del Arduino en entrada
pinMode(analogPin2, INPUT);

// Parametros generales para el calculo
// Formula para calcular el valor beta si no disponemos de el
// beta=(log(RT1/RT2))/((1/T1)-(1/T2));
// Valor beta, los fabricantes suelen disponer ya de este valor,
// mirar en la tabla de características del termistor
beta2 = 3950;
Rinf2=R02*exp(-beta2/T02);

////////////////////////////////PINS CONTROL RELES////////////////////////////////
pinMode(relepos, OUTPUT);
pinMode(relepeg, OUTPUT);
pinMode(relestop, OUTPUT);
digitalWrite(relestop, HIGH);
digitalWrite(relepeg, HIGH);
digitalWrite(relepos, HIGH);

////////////////////Variables para cambio de temperatura objetivo////////////////////
pinMode(pulsador, INPUT);
pinMode(pulsadorsube, INPUT);
pinMode(pulsadorbaja, INPUT);

////////////////////DHT11////////////////////////////////////
pinMode(humedad, INPUT);
}

void loop()
{

//////////////////// MODO DE MEDIR LA TEMPERATURA //////////////////////////////////////
if (Modo == MedirTemperatura)
{
    //// Mostramos la temperatura media en grados Celsius////////////////////////////////
    Serial.print("Temp 1:");
    Serial.print(TempC1);
    Serial.print(" Temp 2:");
    Serial.print(TempC2);
    Serial.print(" Temp: ");
    Serial.println(temperatura);
    ////Mostramos la temperatura y la humedad por el LCD////////////////////////////////
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("T1:");
    lcd.print(TempC1);
    lcd.print(" T2:");
    lcd.print(TempC2);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Humedad:");
    lcd.print(hum);
    ///////////////////Medicion Humedad////////////////////////////////
    int err;
    dht11.read(hum, temp);
    /////////////////// Medición del Termistor 1 //////////////////////////////////
    cTemp11=0;
    for (iCont1 = 1; iCont1 <= 500; iCont1++)
    {
        // Cálculo del valor de la resistencia termistor (NTC) actual (a través de Vout)
        Vout1=Vin1*((float)(analogRead(analogPin1))/1024.0);
        Rout1=(Raux1*Vout1/(Vin1-Vout1));

        // Calculo de la temperatura en grados Kelvin
        TempK1=(beta1/log(Rout1/Rinf1));
        // Calculo de la temperatura en grados Celsius
        TempC1=TempK1-273.15;

        // Almacenamos la temperatura (grados Celsius) actual para después obtener la media
        cTemp11 = cTemp11 + TempC1;
    }
}
}

```




```

// Hacemos una pausa de 2 milisegundos
delay(2);
// Comprueba si se ha pulsado el Pulsador
if (digitalRead(pulsador)==HIGH)    // Si detecta que se ha pulsado
{
  AtenderPulsador (iCont1, 501);    // realiza la función de AtenderPulsador
}
}
// Calculamos la temperatura media
TempC1 = cTemp11/iCont1;

///// Comprueba si el Modo aun es el de medir la temperatura porque si se ha pulsado el pulsador,
///// ya estará en Modo de atender los botones y se saltará el resto del programa del Modo de Medir la temperatura
if (Modo == MedirTemperatura)
{
  /////////// Medicion del Termistor 2 ///////////
  cTemp12=0;
  for (iCont2 = 1; iCont2 <= 500; iCont2 ++)
  {
    // Cálculo del valor de la resistencia termistor (NTC) actual (a través de Vout)
    Vout2=Vin2*((float)(analogRead(analogPin2))/1024.0);
    Rout2=(Raux2*Vout2/(Vin2-Vout2));

    // Calculo de la temperatura en grados Kelvin
    TempK2=(beta2/log(Rout2/Rinf2));
    // Calculo de la temperatura en grados Celsius
    TempC2=TempK2-273.15;

    // Almacenamos la temperatura (grados Celsius) actual para después obtener la media
    cTemp12 = cTemp12 + TempC2;
    // Hacemos una pausa de 2 milisegundos
    delay(2);
    // Comprueba si se ha pulsado el Pulsador
    if (digitalRead(pulsador)==HIGH)    // Si detecta que se ha pulsado
    {
      AtenderPulsador (iCont1, 501);    // realiza la función de AtenderPulsador
    }
  }

  /////////// Vuelve a comprobar si el Modo sigue siendo el de medir la temperatura
  /////////// para seguir con el resto del programa del Modo de medir la temperatura
  if (Modo == MedirTemperatura)
  {
    /////////// Calculamos la temperatura media
    TempC1 = cTemp11/iCont1;
    TempC2 = cTemp12/iCont2;
    temperatura =((TempC1+TempC2-1)/2);

    ///////////Control de rele para el cambio de polaridad//////////

    if ((temperatura)<=(temperaturaobjetivo-LimiteInferior))    ///////////SI LA TMEPERATURA BAJA ESTIPULADO DE LA
    TEMP OBJETIVO SE ACTIVA LA POSICION DE CALENTAE
    {
      digitalWrite(relestop, LOW);
      digitalWrite(reledeg, HIGH);
      digitalWrite(relepos, HIGH);
    }
    if (temperatura>=(temperaturaobjetivo+LimiteSuperior))    ///////////SI LA TMEPERATURA SUBE DE LO ESTIPULADO DE
    LA TEMP OBJETIVO SE ACTIVA LA POSICION DE ENFRIAR
    {
      digitalWrite(relestop, LOW);
      digitalWrite(reledeg, LOW);
      digitalWrite(relepos, LOW);
    }
    if (((temperaturaobjetivo-LimiteInferior)<temperatura)&&(temperatura<(temperaturaobjetivo+LimiteSuperior)))    ///////////SI
    LA TMEPERATURA ESTA EN EL INTERVALO DE BUENO LOS RELES APAGADOS
    {
      digitalWrite(relestop, HIGH);
      digitalWrite(reledeg, HIGH);
      digitalWrite(relepos, HIGH);
    }
  }
}

```



```

}

//////// Espera un tiempo (definido al inicio del programa: "tiempo_entre_muestra") para volver a hacer otra medida //////////
tiempo_ref_modos_temp = millis ();
while (millis() < (tiempo_ref_modos_temp + tiempo_entre_muestra)) // Mientras espera ese tiempo (tiempo_entre_muestra)
{
  if (digitalRead(pulsador) == HIGH) // comprueba si se ha pulsado el pulsador
  {
    AtenderPulsador (tiempo_ref_modos_temp, (tiempo_ref_modos_temp - tiempo_entre_muestra));
  }
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}

//////////////////// FIN DEL MODO DE MEDIR LA TEMPERATURA //////////////////////////////////////

//////////////////////////////// MODO DE AJUSTE DE TEMPERATURA OBJETIVO //////////////////////////////////////
if (Modo == AjusteTempObjetivo)
{
  if (temperaturaobjetivo != temperaturaobjetivo_aux) // Si la temperatura objetivo ha cambiado, actualiza el valor por pantalla
  {
    temperaturaobjetivo_aux = temperaturaobjetivo;
    Serial.print("Temperatura objetivo: ");
    Serial.print(temperaturaobjetivo);
    Serial.print("\r\n");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor ( 0, 0 );
    lcd.print("Temp. objetivo:");
    lcd.setCursor ( 7, 1 );
    lcd.print(temperaturaobjetivo);
  }

  if (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH) // Si se pulsa el pulsador de subir
  {
    delay (30); // Espera 30 ms para evitar los rebotes mecanicos del pulsador y
    if (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH) // si sigue pulsado, significa que no era un rebote y es una pulsacion intencionada
    {
      temperaturaobjetivo=temperaturaobjetivo + 1; // Incrementa la temperatura objetivo en 1
      tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Actualiza el tiempo en para contar el tiempo maximo que puede estar en este
modo
    }
    while (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH) {}; // Espera a que el pulsador se suelte
  }
  if (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH)
  {
    delay (30); // Espera 30 ms para evitar los rebotes mecanicos del pulsador y
    if (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH) // si sigue pulsado, significa que no era un rebote y es una pulsacion intencionada
    {
      temperaturaobjetivo=temperaturaobjetivo - 1; // Decrementa el valor de la temperatura objetivo en 1
      tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Actualiza el tiempo en para contar el tiempo maximo que puede estar en este
modo
    }
    while (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH) {}; // Espera a que el pulsador se suelte
  }
}

if (digitalRead(pulsador) == HIGH) // Si se vuelve a pulsar el pulsador
{
  delay(30); // Evita rebotes
  if (digitalRead(pulsador)==HIGH)
  {
    Modo = MedirTemperatura; // Cambia al Modo de medir la temperatura
    lcd.clear();
  }
  while (digitalRead(pulsador)==HIGH) {}; // Espera a que el pulsador se suelte
}
if ((millis()- tiempo_ref_modos_botones) > tiempo_limite_modos_botones ) // Si el tiempo actual es un tiempo
"tiempo_limite_modos_botones" superior
{
  // al tiempo desde que se pasó al Modo de atender botones

```



```

    Modo = MedirTemperatura;
    siempre en el Modo de
    lcd.clear();
}
}
//////////////////////////////////FIN DE MODO DE AJUSTE DE TEMPERATURA OBJETIVO //////////////////////////////////////

////////////////////////////////// MODO DE AJUSTE LOS LIMITES SUPERIOR E INFERIOR DE LA TEMPERATURA OBJETIVO //////////////////////////////////////
if (Modo == CambioLimites)
{
    if ((LimiteSuperior_Aux != LimiteSuperior) || (LimiteInferior_Aux != LimiteInferior)) // Si el valor del limete superior o inferior
    cambian
    {
        // Actualiza el nuevo valor por pantalla
        LimiteSuperior_Aux = LimiteSuperior;
        LimiteInferior_Aux = LimiteInferior;
        Serial.print("Modo cambio de limites de histeresis\r\n");
        Serial.print("Limite superior: +");
        Serial.print(LimiteSuperior);
        Serial.print("\r\n");
        Serial.print("Limite inferior: -");
        Serial.print(LimiteInferior);
        Serial.print("\r\n");
        lcd.clear();
        lcd.setCursor ( 0, 0);
        lcd.print("Lim sup: +");
        lcd.print(LimiteSuperior);
        lcd.setCursor ( 0, 1);
        lcd.print("Lim inf: -");
        lcd.print(LimiteInferior);
    }
    if (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH)
    {
        delay (30);
        if (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH) // Si se pulsa el pulsador de subir
        {
            if ((AjusteLimSup == true)&&(LimiteSuperior < 10.0)) // Si esta en el submodo de ajuste del limite superior y este limite es
            inferior a 10.0
            {
                LimiteSuperior = LimiteSuperior + 0.5; // Aumenta el limite superior en 0.5
            }
            if ((AjusteLimSup == false)&&(LimiteInferior < 5.0)) // Si esta en el submodo de ajuste del limite inferior y este limite es
            inferior a 5.0
            {
                LimiteInferior = LimiteInferior + 0.5; // Aumenta el limite inferior en 0.5
            }
            tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Actualiza el tiempo para contar el tiempo maximo que puede estar en este
            modo
        }
        while (digitalRead(pulsadorsube)==HIGH) {}; // Espera a que se suelte el pulsador
    }
    if (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH)
    {
        delay (30);
        if (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH) // Si se pulsa el pulsador de bajar
        {
            if ((AjusteLimSup == true)&&(LimiteSuperior > 1.0)) // Si esta en el submodo de ajuste del limite superior y este limite es
            inferior mayor de 1.0
            {
                LimiteSuperior = LimiteSuperior - 0.5; // Disminuye el limite superior en 0.5
            }
            if ((AjusteLimSup == false)&&(LimiteInferior > 1.0)) // Si esta en el submodo de ajuste del limite inferior y este limite es
            inferior a 5.0
            {
                LimiteInferior = LimiteInferior - 0.5; // Disminuye el limite inferior en 0.5
            }
            tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Actualiza el tiempo para contar el tiempo maximo que puede estar en este
            modo
        }
    }
}
}

```



```

while (digitalRead(pulsadorbaja)==HIGH) {}; // Espera a que se suelte el pulsador
}

if (digitalRead(pulsador) == HIGH)
{
delay(30);
if (digitalRead(pulsador)==HIGH) // Si se ha pulsador el pulsador
{
AjusteLimSup = !AjusteLimSup; // Cambia el submodo de Ajuste del límite a su valor contrario (si es true --> false)
tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Actualiza el tiempo para contar el tiempo maximo que puede estar en este modo
unsigned long tiempo_espera_pulsador = millis(); // Guarda en una variable el tiempo actual,
while (digitalRead(pulsador)==HIGH) // Espera en un bucle mientras el pulsador este pulsado, mientras
{
if (millis()> (tiempo_espera_pulsador + 1000)) // Si el tiempo actual es mayor que el tiempo guardado antes + 1 seg,
{
// el usuario habrá hecho una pulsación de más de 1 seg,
Modo = MedirTemperatura; // así que cambia el Modo a medir la temperatura
lcd.clear();
}
}
}
while (digitalRead(pulsador)==HIGH) {};
}
if ((millis()- tiempo_ref_modos_botones) > tiempo_limite_modos_botones ) // Si el tiempo actual es un tiempo
"tiempo_limite_modos_botones" superior
{
// al tiempo desde que se pasó al Modo de atender botones
Modo = MedirTemperatura; // cambia al Modo de medir la temperatura para que no se quede
siempre en el Modo de
lcd.clear(); // atender a los botones (si se pulsa solo una vez el pulsador):
}
}
//////////////////// FIN DEL MODO DE AJUSTE LOS LIMITES SUPERIOR E INFERIOR DE LA TEMPERATURA OBJETIVO //////////////////////
}

//////////////////// FUNCION QUE ATIENDE AL PULSAR EL PULSADOR EN EL MODO DE MEDIR LA TEMPERATURA //////////////////////
void AtenderPulsador (int cont_a_superar, int valor) // La función tiene que tener dos variables: una es el contador que se quiere
superar para salir del bucle en el que se encuentre
{
// y el valor que tiene que tener ese contador para que salga del bucle
delay(30); // Espera 30 ms para evitar los rebotes mecánicos del pulsador y
if (digitalRead(pulsador)==HIGH) // si sigue pulsado, significa que no era un rebote y es una pulsación intencionada
{
Modo = AjusteTempObjetivo; // Cambia el modo de trabajo para que atienda a los botones de subir y bajar
temperatura objetivo
cont_a_superar = valor; // Iguala el valor que ha de superar el contador para que salga del bucle de medir la
temperatura.
tiempo_ref_modos_botones = millis(); // Se inicia un temporizador que limitara el tiempo que permanezca en el Modo de
atender botones
unsigned long tiempo_espera_pulsador = millis(); // Guarda el tiempo actual en una variable
while (digitalRead(pulsador)==HIGH) // Espera en un bucle mientras el pulsador este pulsado
{
if (millis()> (tiempo_espera_pulsador + 1000)) // Si el tiempo actual es mayor que el tiempo guardado antes + 1 seg,
{
Modo = CambioLimites; // el usuario habrá hecho una pulsación de más de 1 seg, así que cambia al Modo de cambiar
los limites
AjusteLimSup = true; // Inicia el modo de cambiar los límites con el ajuste del límite superior.
Serial.print("Modo cambio de límites de histeresis\r\n");
Serial.print("Limite superior: +");
Serial.print(LimiteSuperior);
Serial.print("\r\n");
Serial.print("Limite inferior: -");
Serial.print(LimiteInferior);
Serial.print("\r\n");
lcd.clear();
lcd.setCursor ( 0, 0 );
lcd.print("Lim sup: +");
lcd.print(LimiteSuperior);
lcd.setCursor ( 0, 1 );
lcd.print("Lim inf: -");
lcd.print(LimiteInferior);
while (digitalRead(pulsador)==HIGH){}; // Espera a que se suelte el pulsador para seguir con el programa
}
}
}
}

```



```
    }  
  }  
  if (Modo == AjusteTempObjetivo)      // Si el pulsador no ha sido pulsado más de 1 seg, el Modo seguirá siendo el de Ajuste  
  Temperatura Objetivo  
  {  
    Serial.print("Modo atender botones\r\n");  
    Serial.print("Temperatura objetivo: " );  
    Serial.print(temperaturaobjetivo );  
    Serial.print("\r\n");  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor ( 0, 0 );  
    lcd.print("Temp. objetivo:");  
    lcd.setCursor ( 7, 1 );  
    lcd.print(temperaturaobjetivo);  
    while (digitalRead(pulsador)==HIGH){}; // Espera a que se suelte el pulsador para seguir con el programa  
  }  
}  
}
```

