

GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
MEDIANTE CÉLULA PELTIER***

Alumno: Losa Blanco, Unai

Directora: Otaegi Aizpeolea, Aloña

Curso: 2019-2020

Fecha: Fecha: 31/10/2019

GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
MEDIANTE CÉLULA PELTIER***

DOCUMENTO - MEMORIA TÉCNICA

Alumno: Losa Blanco, Unai

Directora: Otaegi Aizpeolea, Aloña

Curso: 2019-2020

Fecha: 31/10/2019

RESUMEN

El presente documento contiene la descripción del diseño y de la fabricación de un sistema de refrigeración mediante una célula Peltier, que permite bajar la temperatura de un entorno cerrado, pudiendo llegar a temperaturas de hasta 4 °C.

Se ha realizado un estudio electrónico, con el que se ha implementado todo el proyecto desde la selección de componentes específicos hasta su funcionamiento, siempre simulando todo en un entorno software hasta obtener los resultados finales.

Se ha diseñado una placa de circuito impreso mediante software, uniendo en una sola placa, todos los circuitos diseñados, quedando así un producto con un acabado semi-profesional. Para crear la PCB se ha utilizado una placa de cobre fotosensible, y un método de atacado químico.

El circuito electrónico es comandado por un microcontrolador que recoge las señales del sensor de temperatura, y se encarga de mandarlas a un circuito termostato diseñado, que permitirá regular la temperatura.

También se ha diseñado un sistema de medición de consumo eléctrico que será procesado por el microcontrolador.

El usuario puede navegar utilizando tres botones físicos, por un menú que mostrará los diferentes parámetros a través de una pantalla.

Finalmente, se ha realizado una comprobación de los diferentes bloques de circuitos, verificando también el funcionamiento del dispositivo final.

PALABRAS CLAVE

Sistema de refrigeración – Pcb – Célula Peltier

LABURPENA

Dokumentu honek Peltier zelula erabiliz hozte sistema baten diseinuaren eta fabrikazioaren deskribapena jasotzen du. Ingurune itxi baten temperatura jaistea ahalbidetzen du eta 4 °C-rainoko temperatura lor dezake.

Azterketa elektronikoa egin da, eta horrekin proiektu osoa osagai espezifikoek aukeraketatik abiatuta gauzatu da, beti ere software ingurunean dena simulatuz azken emaitzak lortu arte.

PCB bat softwareak diseinatu du, taula bakarrean elkartuta, zirkuitu guztiak diseinatuta, produktu bat akabera erdi profesionalarekin utziz. Zirkuitu imprimatua sortzeko, kobre plaka fotosentsiblea eta eraso kimikoen metodoa erabili dira.

Zirkuitu elektronikoa temperatura sentsoaren seinaleak biltzen dituen mikrokontroladore batek zuzentzen du eta termostato zirkuitu diseinatu batera bidaltzeaz arduratzen da, temperatura erregulatzeko aukera emango duena.

Kontsumo elektrikoa neurtzeko sistema bat ere diseinatu da, mikrokontrolatzaileak prozesatuko duena.

Erabiltzaileak hiru botoi fisiko erabiliz nabigatu dezake parametro desberdinak pantailan zehar erakutsiko dituen menu baten bidez.

Azkenik, zirkuitu bloke desberdinen egiaztapena egin da, azken gailuaren funtzionamendua ere egiaztatuz.

GAKO-HITZAK

hozte sistema – PCBa – Peltier zelula

ABSTRACT

This document contains the description of the design and manufacture of a cooling system using a Peltier cell, which allows the temperature of a closed environment to be lowered, and can reach temperatures of up to 4 °C.

An electronic study has been carried out, with which the entire project has been implemented from the selection of specific components to its operation, always simulating everything in a software environment until obtaining the final results.

A PCB has been designed by software, joining in a single board, all the circuits designed, leaving a product with a semi-professional finish. To create the printed circuit board, a photosensitive copper plate and a chemical attack method have been used.

The electronic circuit is commanded by a microcontroller that collects the signals from the temperature sensor, and is responsible for sending them to a designed thermostat circuit, which will allow to regulate the temperature.

An electrical consumption measurement system has also been designed that will be processed by the microcontroller.

The user can navigate using three physical buttons, through a menu that will show the different parameters through a screen.

Finally, a check of the different circuit blocks has been carried out, also verifying the operation of the final device.

KEY WORDS

Cooling system – Pcb – Peltier Cell

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. MOTIVACION Y CONTEXTO	1
1.2. ALCANCE DEL TRABAJO	1
2. OBJETIVOS	3
3. DIAGRAMA GENERAL Y REQUERIMIENTOS	4
4. FUNDAMENTO TEÓRICO	5
4.1. CÉLULA TERMOELÉCTRICA	5
4.1.1. Efecto Peltier	5
4.1.2. Placa Peltier y propiedades	6
4.2. AMPLIFICADOR OPERACIONAL	7
4.2.1. Amplificador operacional no inversor	8
4.2.2. Amplificador operacional Seguidor	9
4.2.3. Amplificador operacional Restador	10
4.3. SENSORES DE TEMPERATURA	11
4.3.1. Rtd PT100	11
4.3.2. Ntc	13
4.3.3. Lm35	13
4.4. SHUNT	14
4.5. MICROCONTROLADOR	14
4.6. MODULO RELÉ ESTADO SOLIDO	17
5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	19
5.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN	19
5.2. SENSOR DE TEMPERATURA	19
5.2.1. Ntc	19
5.2.2. Lm35	20
5.3. CIRCUITO TERMOSTATO	20
5.4. RELÉ TERMOSTATO	20
6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	22
7. MODELIZACIÓN: DISEÑO Y CÁLCULOS	25
7.1. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA	25
7.2. MEDICION DE LA CORRIENTE	30
7.3. IMPLEMENTACIÓN EN MICROCONTROLADOR	31
7.3. PROGRAMACIÓN MICROCONTROLADOR	34
8. PROTOTIPADO	36
8.1. PROTOTIPO INICIAL	36
8.2. LAYOUT	37
8.3. FABRICACIÓN PCB	40
8.3.1. Preparación del fotolito	40

8.3.2. Preparación de la placa fotosensible.....	40
8.3.3. Proceso de insolado	41
8.3.4. Proceso de revelado	42
8.3.5. Proceso de atacado.....	43
8.3.6. Proceso de taladrado	44
8.3.7. Proceso de soldadura de componentes	45
8.3.8. Proceso de verificación.....	46
8.4. MONTAJE FINAL.....	47
9. DIAGRAMA DE GANTT.....	50
10. ESTUDIO ECONÓMICO	54
10.1. MANO DE OBRA.....	54
10.2. LICENCIAS DE SOFTWARE.....	55
10.3. MATERIAL.....	55
11. CONCLUSIONES	58
12. BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama general de los elementos que componen el proyecto.....	4
Figura 2. Distribución de semiconductores en placa Peltier.....	6
Figura 3. Flujo termodinámico en placa Peltier.....	6
Figura 4. Montaje óptimo de una placa Peltier.....	7
Figura 5. Configuración AO no inversor.....	9
Figura 6. Configuración AO seguidor de tensión.....	9
Figura 7. Configuración AO restador.....	10
Figura 8. Sensor PT100.....	11
Figura 9. Representación gráfica sobre la linealidad del sensor.....	12
Figura 10. Gráfica resistencia/temperatura de una NTC donde se aprecia la no linealidad.....	13
Figura 11. Sensor de temperatura LM35 en formato encapsulado TO92.....	13
Figura 12. Resistencia shunt.....	14
Figura 13. Diagrama funcional de un microcontrolador.....	14
Figura 14. Diagrama funcional del lenguaje de programación.....	16
Figura 15. Pinout utilizado del ATMEGA328.....	16
Figura 16. Relé de estado sólido.....	17
Figura 17. Gráfica resistencia/temperatura de una NTC donde se aprecia la no linealidad.....	19
Figura 18. Circuito del termostato, creado en NI Multisim.....	20
Figura 19. Diagrama de los componentes del proyecto.....	22
Figura 20. Esquema electrónico del proyecto, realizado mediante NI MULTISIM.....	25
Figura 21. Circuito de acondicionamiento de señal.....	26
Figura 22. Medida de tensión en las 2 ramas del puente.....	28
Figura 23. Tensión resultante para 30°C.....	29
Figura 24. Circuito medición de corriente.....	30
Figura 25. Diagrama microcontrolador.....	31
Figura 26. Conmutaciones relé mecánico.....	32
Figura 27. Representación duty-cycle PWM generada por ATMEGA328.....	33
Figura 28. Representación regulación termostato mediante el uso de la PWM.....	33
Figura 29. Diagrama de flujo software.....	34
Figura 30. Puesta en marcha del ATMEGA328.....	35
Figura 31. Circuito del sistema de medición en placa de topos con pistas realizadas con estaño.....	37
Figura 32. Esquema modular distribución del sist. de refrigeración.....	38
Figura 33. Layout caras TOP y BOTTOM con pistas de cobre en ambas caras.....	38
Figura 34. Layout cara TOP y BOTTOM.....	39
Figura 35. Layout cara TOP donde se sitúan los componentes.....	39

Figura 36. Layout cara BOTTOM donde se sitúan las pistas.....	40
Figura 37. Placa de cobre cubierta con protector opaco, siendo cortada con una cizalla.....	41
Figura 38. Fotolito sobre placa de cobre fotosensible.....	42
Figura 39. Insoladora, en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.....	42
Figura 40. Ejemplo de revelado químico de PCB.....	43
Figura 41. Campana de extracción de gases de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.....	43
Figura 42. Compuesto químico de atacado rápido.....	44
Figura 43. Tarjeta impresa final.....	44
Figura 44. Estación de taladro de la escuela.....	45
Figura 45. Representación componente de orificio pasante.....	45
Figura 46. Secuencia soldadura con lápiz.....	46
Figura 47. Soldadura fría.....	46
Figura 48. Modo continuidad multímetro para verificación de pistas de la PCB.....	47
Figura 49. PCB sistema de refrigeración mediante célula Peltier.....	48
Figura 50. Menú interactivo.....	49
Figura 51. Sistema de refrigeración.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores resistivos PT100 a diferentes temperaturas.....	12
Tabla 2. Parámetros de resistividad de diferentes materiales.....	27
Tabla 3. Estudio económico de la mano de obra.....	52
Tabla 4. Estudio económico de las licencias software.....	53
Tabla 5. Estudio económico del material de estudio y realización.....	53
Tabla 6. Coste final de realización del proyecto.....	55

1. INTRODUCCIÓN

Esta memoria técnica contiene la documentación de la construcción de un sistema de refrigeración electrónico, utilizando los conocimientos adquiridos a lo largo del Grado en Ingeniería Electrónica y Automática.

Se ha diseñado en el transcurso del último curso de la titulación, trabajando en laboratorio y en el entorno de simulación por ordenador como es Multisim y creado mediante Ultiboard de National Instruments.

1.1. MOTIVACION Y CONTEXTO

Tras la experiencia adquirida en el mundo laboral al cual accedí por unos estudios realizados de formación profesional en electrónica y las asignaturas de la especialidad en electrónica de la carrera, como instrumentación electrónica, despertó en mí el interés por la transducción electrónica, por ver como señales eléctricas de baja tensión pueden ofrecer información sobre el mundo real.

El descubrimiento de la célula Peltier y su proporción de calor y frío en ambas caras de ella misma, me lleva a crear un sistema que aproveche dicha cualidad.

El calor se genera en casi cualquier sistema, pues generalmente, en los aparatos electrónicos, la mayoría de pérdidas se traducen en calor. Sin embargo, la cualidad que tiene la célula Peltier de generar frío aplicando electricidad, es lo que me inspiró a utilizar dicha cualidad para refrigerar de manera efectiva un entorno dimensionado y por consiguiente su contenido.

1.2. ALCANCE DEL TRABAJO

Debido a la limitación económica y temporal para el desarrollo del proyecto, siendo un proyecto de alcance académico y no comercial o profesional, se desestiman los diseños de la alimentación eléctrica debido al gran coste de los transformadores.

Por otra parte, se dejará un campo abierto para la mejora del proyecto, tanto en la rama de la eficiencia energética, como para el uso y estudio de resultados utilizando diferentes transductores de temperatura.

El proyecto abarca los siguientes campos:

- Análisis de las tipologías de los amplificadores operacionales.
- Análisis de la célula Peltier.
- Procesos de diseño simulación y montaje hardware.
- Programación de un microcontrolador.

- Implementación de in control de temperatura.
- Implementación de una interfaz para el usuario: pantalla y teclado.

Este proyecto está orientado hacia un uso didáctico y puede demostrar, que, con materiales al alcance de cualquier persona, se puede crear un producto electrónico que funciona, como puede ser un sistema de refrigeración o “nevera” de escritorio o portable, por su tamaño reducido. Por otro lado, el uso de un microcontrolador otorga un gran número de configuraciones o ideas a implementar.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto consiste en la realización de un sistema de refrigeración mediante el uso de una célula Peltier. Este principal objetivo se divide en varios objetivos menores:

1. *Objetivos diseño del proceso.*

- **Diseñar** un proyecto viable, con especificaciones reales y factibles, a partir del uso de materiales de fácil disponibilidad.

2. *Objetivos de diseño.*

- **Selección** de los componentes apropiados, en base al diseño teórico, su coste económico y su posibilidad para la implementación física mediante el uso de hardware. Para ello se estudiarán diferentes alternativas.
- **Determinar** los valores nominales de los componentes elegidos en el diseño final, mediante cálculos teóricos y simulación.

3. *Objetivos de fabricación hardware.*

- **Diseño** del layout de los circuitos. Parte vital en cualquier desarrollo de un producto electrónico.
- **Fabricación** de la PCB. Se fabrica para asegurar la conducción eléctrica, la operación del circuito y obtener un acabado profesional. También se obtiene una mejor optimización del espacio físico, reduciendo así las dimensiones de la placa.
- **Implementación** del proyecto en una estructura sólida y funcional.

4. *Objetivos de planificación.*

- **Fijar plazos de entrega.** Comprometerse a tener cierta parte del trabajo preparada para un plazo fijado.
- **Gestionar** el tiempo invertido en el estudio de viabilidad, el desarrollo teórico, el diseño y la simulación electrónica y el montaje hardware.
- **Aproximar** la magnitud de este proyecto académico al de un proyecto laboral o profesional, resolviendo los problemas surgidos a lo largo del desarrollo y obteniendo experiencia para realizar una reflexión sobre el trabajo realizado.

3. DIAGRAMA GENERAL Y REQUERIMIENTOS

Para cumplir con los objetivos del presente proyecto se necesitan realizar varios subsistemas electrónicos para que en conjunto cumplan las funciones marcadas y se cumplan los resultados deseados. Para llevarlo a cabo son necesarios una serie de conocimientos teóricos y técnicas de aplicación práctica. A continuación, se describen los requerimientos básicos del proyecto según los objetivos generales con una breve explicación y un diagrama de bloques sencillo:

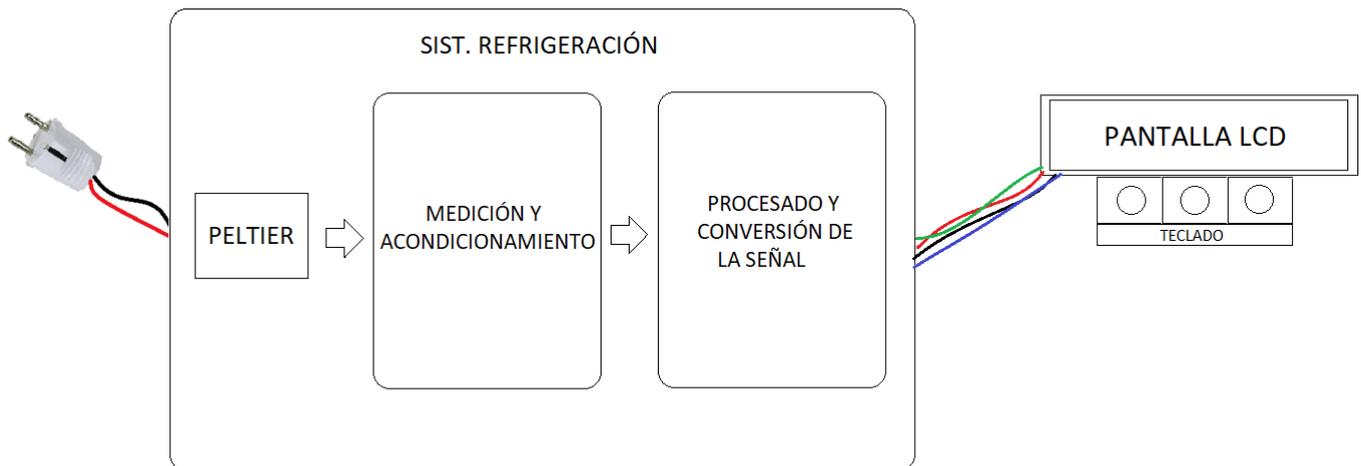


Figura 1. Diagrama general de los elementos que componen el proyecto

El sistema de refrigeración necesita una alimentación eléctrica de unos 48-60W. Y es que la célula Peltier, tiene un consumo elevado de corriente.

El siguiente bloque del diagrama estudia qué tipo de sensor se utilizará, y analiza también las alternativas, pues pudiéndose elaborar con todos ellos, cada sensor tiene sus ventajas y desventajas.

El circuito de acondicionamiento es imprescindible para adecuar la medición del sensor y llevar esta medida a un microcontrolador.

La señal será transformada por el microcontrolador, y se visualizarán en una pequeña pantalla LCD (liquid cristal display) datos como la temperatura o el consumo eléctrico.

4. FUNDAMENTO TEÓRICO

A continuación, se expone la base teórica en la que se fundamentan los requerimientos técnicos del presente proyecto.

4.1. CÉLULA TERMOELÉCTRICA

Este apartado se centra en la descripción del componente encargado de la generación de frío y desarrolla su concepto teórico y sus características.

4.1.1. EFECTO PELTIER

El efecto Peltier es uno de los tres efectos termoeléctricos clásicos (Seebeck, Peltier y Thomson).

El efecto Seebeck fue descubierto en 1821 por el físico alemán Thomas Johann Seebeck. Al establecer un circuito cerrado entre dos metales diferentes y aplicar una diferencia de temperaturas entre ambas uniones aparece una corriente eléctrica.

En 1832 el francés Jean Charles Athanase Peltier descubre el efecto contrario, es decir, en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes, al hacer circular una corriente aparece una diferencia de temperatura entre ambas uniones.

El motivo en ambos fenómenos es la diferente concentración de electrones libres entre ambos metales que establecen dos barreras de potencial al paso de electrones, inversa en cada unión, lo que produce una emisión o absorción de calor.

Sin embargo, sus aplicaciones prácticas tuvieron que esperar ya que el efecto en metales es reducido. No fue hasta 1947 con la invención del transistor y el desarrollo de materiales semiconductores de alta pureza de dopado que se dispuso de materiales para aprovechar estos efectos.

Una placa Peltier está formada por múltiples celdas de materiales N y P ubicadas entre dos caras cerámicas. Habitualmente se emplea Telurio y Bismuto como semiconductores y óxido de aluminio para las placas cerámicas.

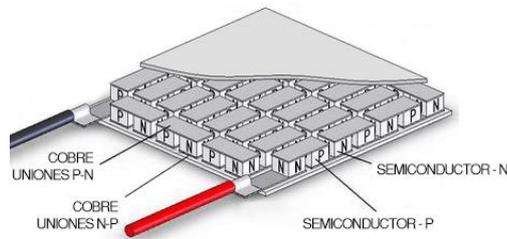


Figura 2. Distribución de semiconductores en placa Peltier.

Las distintas celdas están conectadas en serie, y las uniones dispuestas de forma que las uniones N-P están en contacto con una de las caras cerámicas de la placa Peltier y las uniones P-N con la otra cara.

Al hacer circular corriente por el dispositivo una de las caras absorbe calor y otra la emite. El papel de cada cara depende del sentido de la corriente. De hecho, es posible invertir el flujo de calor invirtiendo el sentido de la corriente.

4.1.2. PLACA PELTIER Y PROPIEDADES

Una placa Peltier actúa como una bomba de calor de estado sólido, es decir, es capaz de emplear energía para transferir calor de un foco frío a uno caliente, oponiéndose al gradiente de temperatura.

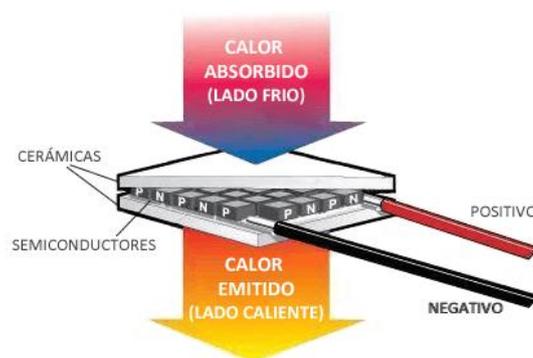


Figura 3. Flujo termodinámico en placa Peltier.

Si encendemos una placa Peltier directamente, el calor del lado frío y el lado caliente se igualan. Sumado a la disipación en forma de calor de la energía consumida por la célula, hará que la temperatura de la célula se eleve rápidamente.

Para hacer funcionar una placa Peltier debemos dar salida al calor generado en la cara caliente para lo cual, se debe instalar un sistema de disipación. Como mínimo se debe instalar un disipador en el lado caliente. Un ventilador sobre el disipador del lado caliente ayudará a evacuar mejor el calor, y de la misma manera en el lado frío, un disipador con su ventilador nos permitirá propagar el frío para el propósito deseado.



Figura 4. Montaje óptimo de una placa Peltier.

La célula Peltier más común, con unas dimensiones de 40 mm² y unos milímetros de grosor, puede tener entre 48 y 60 W de potencia (12/15V 4/5A).

Sin embargo, podemos encontrar en el mercado células de hasta 138 W, pero hay que tener en cuenta que su consumo es desorbitado rondando los 10 amperios.

Puede alcanzar un diferencial de temperatura máximo de 65 °C entre ambas caras en condiciones ideales. El rango de temperaturas en el que puede trabajar sin dañarse es de -55°C a 83°C. La vida media de una placa Peltier supera las 200.000 horas, si la mantenemos en el rango de temperaturas apropiado.

La eficiencia de refrigeración de las placas, sin contar el gasto energético del ventilador, está en torno a un 20-25%. Es decir, puede extraer unos 12-15W de calor. Sin embargo, el valor final depende enormemente de la temperatura ambiente y del sistema de disipación instalado.

4.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

El concepto original del AO (*amplificador operacional*) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40.

El nombre de *amplificador operacional* deriva del concepto de un amplificador dc (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados.

Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación.

De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado.

En unos pocos años los amplificadores operacionales integrados se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

En resumen, a partir de estas características del AO, podemos deducir otras dos importantes propiedades adicionales. Puesto que, la ganancia en tensión es infinita, cualquier señal de salida que se desarrolle será el resultado de una señal de entrada infinitesimalmente pequeña:

Estas dos propiedades pueden considerarse como axiomas, y se emplearán repetidamente en el análisis y diseño del circuito del AO. Una vez entendidas estas propiedades, se puede, lógicamente, deducir el funcionamiento de casi todos los circuitos amplificadores operacionales. Los amplificadores operacionales se pueden conectar según dos circuitos amplificadores básicos: las configuraciones (1) *inversora* y (2) *no inversora*. Casi todos los demás circuitos con amplificadores operacionales están basados, de alguna forma, en estas dos configuraciones básicas.

4.2.1. AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO INVERSOR

Una configuración básica del AO ideal es el amplificador no inversor, mostrado en la figura 4. Este circuito ilustra claramente la validez del axioma 3.

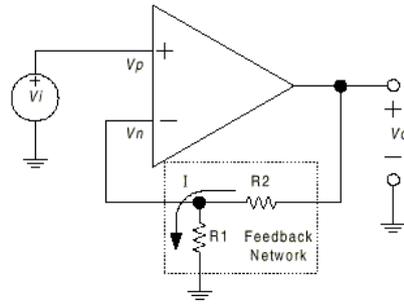


Figura 5. Configuración AO no inversor.

En este circuito, la tensión V_i se aplica a la entrada (+), y una fracción de la señal de salida, V_o , se aplica a la entrada (-) a través del divisor de tensión $R_1 - R_2$. Puesto que, no fluye corriente de entrada en ningún terminal de entrada, y ya que $V_d = 0$, la tensión en R_1 será igual a V_i .

$$V_i = I \cdot R_1 \quad V_o = I \cdot (R_1 + R_2) \quad V_o = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) \quad \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (1)$$

También se pueden deducir propiedades adicionales para esta configuración. El límite inferior de ganancia se produce cuando $R_2 = 0$, lo que da lugar a una ganancia unidad.

En el amplificador inversor, la corriente a través de R_1 siempre determina la corriente a través de R_2 , independientemente del valor de R_2 , esto también es cierto en el amplificador no inversor. Luego R_2 puede utilizarse como un control de ganancia lineal, capaz de incrementar la ganancia desde el mínimo unidad hasta un máximo de infinito. La impedancia de entrada es infinita, puesto que se trata de un amplificador ideal.

4.2.2. AMPLIFICADOR OPERACIONAL SEGUIDOR

Una modificación especial del amplificador no inversor es la etapa de ganancia unidad mostrada en la figura.

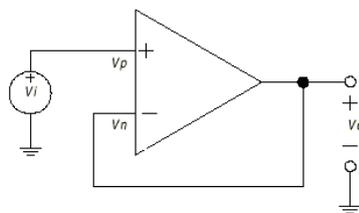


Figura 6. Configuración AO seguidor de tensión.

En este circuito, la resistencia de entrada se ha incrementado hasta infinito, y R_F es cero, y la realimentación es del 100%. V_o es entonces exactamente igual a V_i , dado que $V_{offset} = 0$. El circuito se conoce como

"seguidor de emisor" puesto que la salida es una réplica en fase con ganancia unidad de la tensión de entrada. La impedancia de entrada de esta etapa es también infinita.

4.2.3. AMPLIFICADOR OPERACIONAL RESTADOR

Una tercera configuración del AO conocida como el amplificador diferencial, es una combinación de las dos configuraciones anteriores. Aunque está basado en los otros dos circuitos, el amplificador diferencial tiene características únicas. Este circuito, mostrado en la figura 4, tiene aplicadas señales en ambos terminales de entrada, y utiliza la amplificación diferencial natural del amplificador operacional.

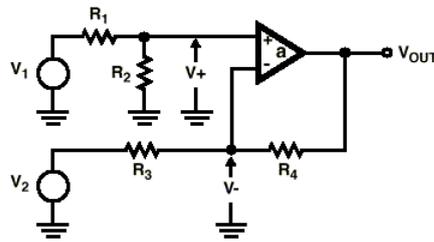


Figura 7. Configuración AO restador.

Para comprender el circuito, primero se estudiarán las dos señales de entrada por separado, y después combinadas. Como siempre $V_d = 0$ y la corriente de entrada en los terminales es cero.

Recordar que $V_d = V(+) - V(-) \implies V(-) = V(+)$

La tensión a la salida debida a V_1 la llamaremos V_{01} y como $V(-) = V(+)$

$$V(+)=\frac{V_1}{R_1+R_2} \cdot R_2 \quad (2)$$

La tensión de salida debida a V_1 (suponiendo $V_2 = 0$) valdrá:

$$V_{01}=\frac{V_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \cdot \frac{R_3+R_4}{R_3} \quad (3)$$

Y la salida debida a V_2 (suponiendo $V_1 = 0$) será, usando la ecuación de la ganancia para el circuito inversor, V_{02}

$$V_{02} = -V_2 \frac{R_4}{R_3} \quad (4)$$

Y dado que, aplicando el teorema de la superposición la tensión de salida $V_0 = V_{01} + V_{02}$ y haciendo que R_3 sea igual a R_1 y R_4 igual a R_2 tendremos que:

$$V_{01} = \frac{V_1 \cdot R_2}{R_1} \quad V_{02} = -V_2 \frac{R_2}{R_1} \quad (5)$$

por lo que concluiremos

$$V_0 = (V_1 - V_2) \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (6)$$

que expresando en términos de ganancia:

$$\frac{V_0}{V_1 - V_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (7)$$

4.3. SENSORES DE TEMPERATURA

Se describen a continuación los diferentes tipos de sensores de temperatura considerados para su implementación en el proyecto.

4.3.1. RTD PT100

La PT100 es un sensor de temperatura que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Aparte de la forma de montaje, son sus características las que básicamente determinan las propiedades técnicas de medida del sensor.

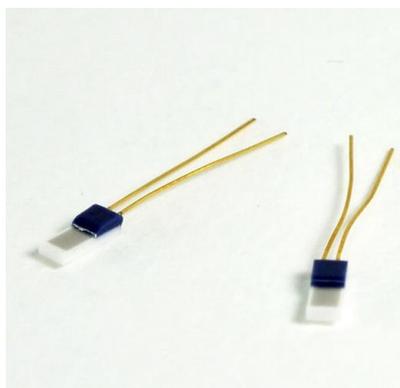


Figura 8. Sensor PT100.

El incremento de la resistencia de la PT100 es el más lineal que podemos encontrar, característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde. Normalmente las sondas PT100 industriales se fabrican encapsuladas en la misma forma que los termopares, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina). En un extremo está el elemento sensible (Sensor RTD) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

El principio activo de las PT100 es la modificación de su resistencia eléctrica, que varía según la temperatura a la que son sometidas.

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (8)$$

R_0 : es la resistencia a la temperatura de referencia T_0

ΔT : es la desviación de temperatura respecto a T_0 ($\Delta T = T - T_0$)

α : es el coeficiente de temperatura del conductor a 0°C

Con un valor de alfa de 0,00385 K⁻¹ se tipifican los siguientes valores:

Tabla 1. Valores resistivos PT100 a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	0	20	30	40	60	80	100
Resistencia (Ω)	100	107.79	111.55	115.54	123.1	130.87	138.50

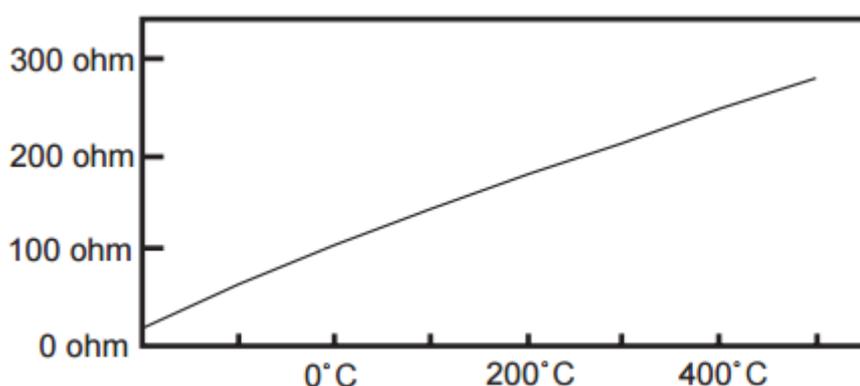


Figura 9. Representación gráfica sobre la linealidad del sensor.

Los sensores PT100 de mejor calidad están hechos con un verdadero alambre de platino, en tanto que existen algunos sensores económicos hechos en base a una pintura conductora sobre un sustrato de alúmina (cerámica).

En general no se debe montar un PT100 en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.

El modo más sencillo de conexión es con solo dos cables. Este solo se recomienda para medición máximo a 10 metros del regulador de temperatura ya que a partir de ahí el sensor PT100 puede tener pérdidas de señal.

4.3.2. NTC

En el caso de la NTC (Negative Temperature Coefficient), a diferencia de los sensores RTD (Resistive Thermal Device), la variación de la resistencia con la temperatura no es lineal. Para un termistor NTC, la característica es hiperbólica. Para pequeños incrementos de temperatura, se darán grandes incrementos de resistencia.

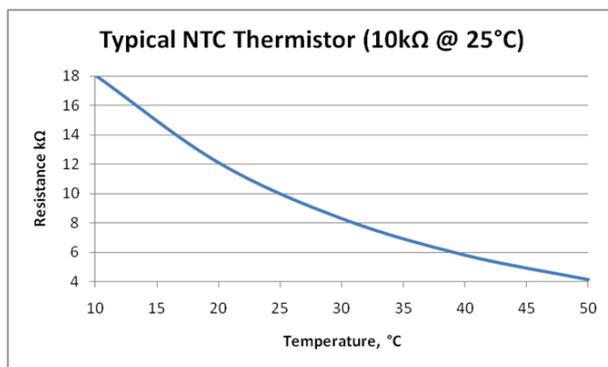


Figura 10. Gráfica resistencia/temperatura de una NTC donde se aprecia la no linealidad.

4.3.3. LM35

Por otro lado, el sensor LM35, tiene una salida lineal y su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. Tiene muy fácil implementación y no requiere calibración. Sin embargo, su baja resolución hace que no sea efectivo para medir décimas de grado centígrado. Su precisión de medición está calibrada a 1 °C.



Figura 11. Sensor de temperatura LM35 en formato encapsulado TO92.

4.4. SHUNT

Una resistencia shunt, es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica. En electrónica, generalmente la resistencia de un shunt es conocida, de un valor óhmico bajo y muy precisa.

Es utilizada para determinar la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de esta carga, mediante la medición de la diferencia de tensión o voltaje a través de ella, valiéndose de ello de la ley de Ohm.

Se coloca en serie con la carga y debido a su bajo valor óhmico, pasa mucha corriente a través de ella, por eso suelen tener un grosor considerable, pues pueden alcanzar grandes temperaturas.



Figura 12. Resistencia shunt.

4.5. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador (abreviado μC , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica. Incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

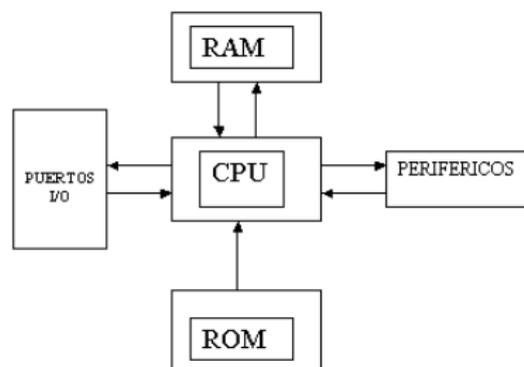


Figura 13. Diagrama funcional de un microcontrolador.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan.

El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador.

Cuando es fabricado, no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

Los microcontroladores están diseñados para interpretar y procesar datos e instrucciones en forma binaria. Patrones de 1's y 0's conforman el lenguaje máquina de los microcontroladores, y es lo único que son capaces de entender. Estos 1's y 0's representan la unidad mínima de información, conocida como bit, ya que solo puede adoptar uno de dos valores posibles: 0 ó 1.

La representación de datos, instrucciones y señales en forma de bits resulta dificultosa y tediosa para aquellas personas que no estén familiarizadas con el sistema de numeración binario. Aún para los usuarios expertos no resulta tan evidente la interpretación de instrucciones en forma binaria o lenguaje máquina (el lenguaje máquina se le conoce también como lenguaje de bajo nivel debido a que las instrucciones no son propias del lenguaje humano).

Es por esto que la programación comúnmente se lleva a cabo en un lenguaje de alto nivel, es decir, un lenguaje que utilice frases o palabras semejantes o propias del lenguaje humano. Las sentencias de los lenguajes de alto nivel facilitan enormemente la programación ya que son familiares a nuestra manera de comunicarnos. Lenguajes como el C o BASIC son comúnmente utilizados en la programación de microcontroladores.

Otro tipo de lenguaje más especializado es el lenguaje ensamblador. El lenguaje ensamblador es una lista con un limitado número instrucciones a las cuales puede responder un microcontrolador. Estas instrucciones son palabras o abreviaciones que representan las instrucciones en lenguaje máquina del microcontrolador.

Las instrucciones en lenguaje ensamblador, también conocidas como nemotécnicos, son fáciles de entender y permiten operar directamente con los registros de memoria, así como con las instrucciones intrínsecas del microcontrolador. Es por esto que el lenguaje ensamblador es sin lugar a dudas el lenguaje por excelencia en la programación de microcontroladores, ya que permite hacer un uso eficiente de la memoria y minimizar el tiempo de ejecución de un programa.

Todo programa escrito en un lenguaje de alto nivel debe ser transformado en código máquina. Los programas que escribimos los entendemos nosotros, no así el microcontrolador.

Un software de computadora, llamado compilador, traduce y transforma nuestro programa en código máquina, que es lo que realmente puede leer e interpretar el microcontrolador.



Figura 14. Diagrama funcional del lenguaje de programación.

Una vez compilado el programa, es momento de transferir nuestro código maquina hacia la memoria interna del microcontrolador, usualmente hacia la ROM. Para esta tarea se utiliza un programador físico, que es una pieza de hardware que tiene el propósito de escribir el programa en la memoria interna del micro.

Cualquiera que sea el lenguaje que se utilice en la programación de microcontroladores, es de lo más recomendable profundizar en su arquitectura interna, ya que con este conocimiento se pueden aprovechar más y mejor las capacidades de un microcontrolador dado.

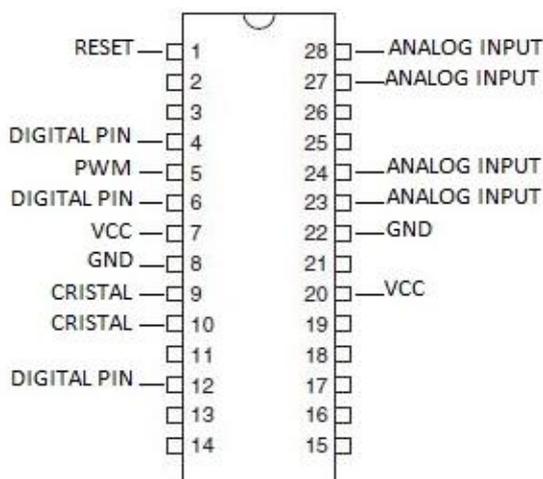


Figura 15. Pinout utilizado del ATMEGA328.

A continuación, se describen brevemente los pines utilizados del microcontrolador.

- Pines digitales: pueden configurarse como entrada (para leer, sensores) o como salida (para escribir, actuadores).
- Pines analógicos de entrada: usan un conversor analógico-digital y sirven para leer sensores analógicos como sondas de temperatura.
- Pines PWM: La señal PWM se utiliza como técnica para controlar circuitos analógicos. El periodo y el ciclo de trabajo (duty cycle) del tren de pulsos puede determinar la tensión entregada a dicho circuito. Si, por ejemplo, se dispone de 5 V y se modula con un ciclo de trabajo del 10%, se obtiene 0.5V de señal analógica de salida.

4.6. MODULO RELÉ ESTADO SOLIDO

Un relé de estado sólido (Solid State Relay) es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control.

Los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas.



Figura 16. Relé de estado sólido.

El relé puede estar diseñado para conmutar corriente alterna o continua. Hace la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles.

Los relés de estado sólido utilizan semiconductores de potencia como tiristores y transistores para conmutar corrientes hasta más de 100 amperios. Los relés SSR pueden conmutar a muy altas velocidades (del orden de milisegundos) en comparación a los electromecánicos, y no tienen contactos mecánicos que se desgasten.

A la hora de aplicar este tipo de relés debe tenerse en cuenta su baja tolerancia para soportar sobrecargas momentáneas, comparado con los relés electromecánicos, y su mayor resistencia al paso de la corriente en su estado activo.

La señal de control debe acoplarse al circuito de control de una forma que se produzca aislamiento galvánico entre los dos circuitos.

La mayoría de los SSR utilizan acoplamiento óptico. El voltaje de control enciende un LED interno que ilumina y activa un diodo fotosensible (fotovoltaico); la corriente del diodo activa un tiristor, SCR, o MOSFET para conmutar la carga. El opto acoplamiento permite que el circuito de control esté eléctricamente aislado de la carga.

Un SSR basado en un único MOSFET, o múltiples MOSFET en paralelo, puede trabajar bien para cargas de CC. Los MOSFET implementan un diodo que conduce la electricidad en un solo sentido, por lo que un único MOSFET no puede bloquear la corriente en ambas direcciones.

Un SSR para CC es básicamente un MOSFET, pero manejando mayor corriente y con la peculiaridad de que la entrada está aislada de la salida, además tendrán el terminal positivo y negativo identificados, ya que se pueden dañar si las polaridades se invierten. Cuando se conmutan cargas inductivas debe colocarse un diodo de protección en la salida del SSR para evitar que las corrientes inversas de retorno lo dañen.

5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Una vez mostrados los requerimientos básicos se procede a profundizar en cada uno de ellos, analizando las distintas opciones a tener en cuenta para la realización del proyecto como son, el tipo de fuente de alimentación, las alternativas de sensores de temperatura, los materiales de almacenamiento de energía o la topología del diseño eléctrico:

- Fuente de alimentación.
- NTC.
- LM35.
- Termostato.
- Relé electro-mecánico.

5.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

El sistema de refrigeración, utiliza tensión continua de 12V. En un inicio, se diseñó una fuente de alimentación con un transformador capaz de otorgar los 4 amperios que consume la célula Peltier.

El precio de los transformadores de 4 amperios o más, rondaban los 50€, por lo que se decidió utilizar una fuente de alimentación de PC ATX. Estas son capaces de proporcionar 20A con una tensión de 12V.

5.2. SENSOR DE TEMPERATURA

Existen otras alternativas cuyo funcionamiento ofrecen una medición de la temperatura. Sin embargo, fueron descartados para este proyecto debido a diferentes razones que a continuación se explican.

5.2.1. NTC

En el caso de la NTC, a diferencia de los sensores RTD, la variación de la resistencia con la temperatura no es lineal. Para un termistor NTC, la característica es hiperbólica. Para pequeños incrementos de temperatura, se darán grandes incrementos de resistencia.

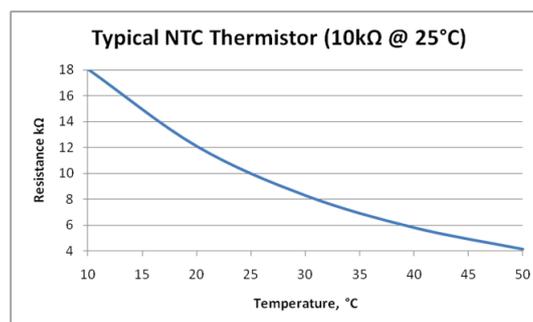


Figura 17. Gráfica resistencia/temperatura de una NTC donde se aprecia la no linealidad.

5.2.2. LM35

El sensor LM35, tiene una salida lineal y su rango de medición abarca desde $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Solo tiene 3 pines o patillas, y su implementación no requiere de ninguna calibración. Por contra, tiene una baja resolución, por lo que hace que no sea efectivo para medir décimas de grado centígrado. Su precisión de medición está calibrada a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.3. CIRCUITO TERMOSTATO

Como se aprecia en la siguiente figura, para crear el termostato, en un principio se diseñó un circuito analógico en el cual se fijaba un valor de tensión mediante un potenciómetro (sería la temperatura de consigna) y mediante un circuito operacional, compararía la señal del circuito acondicionador de la PT100 (sería la temperatura medida). La célula Peltier seguiría trabajando generando frío, hasta que la temperatura leída llegara a la consigna fijada. Entonces, una señal, excitará la bobina de un relé que cortará la alimentación.

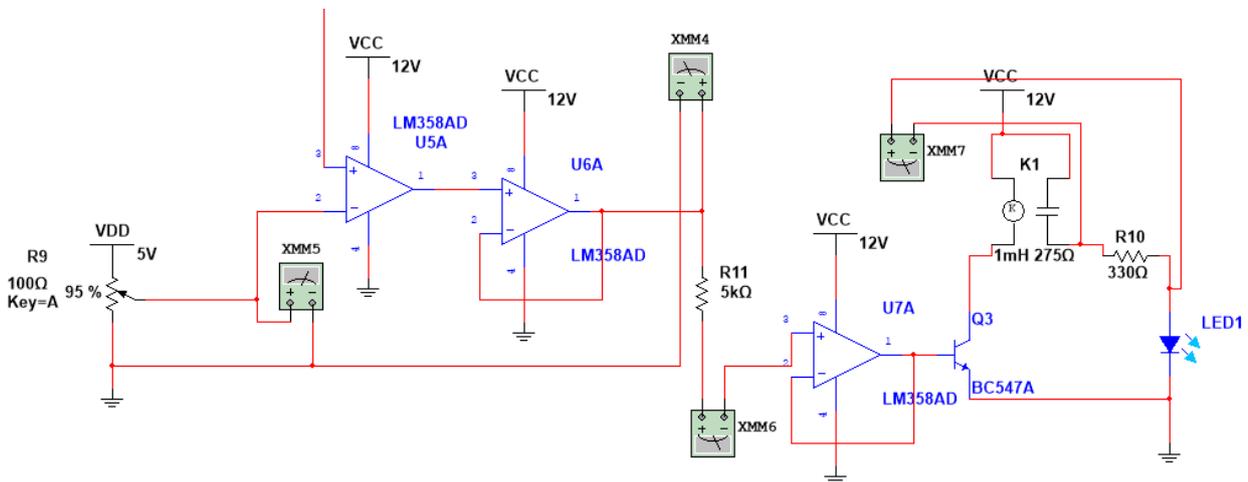


Figura 18. Circuito del termostato, creado en NI Multisim.

Finalmente se decide implementar el termostato mediante el microcontrolador, ahorrando así en componentes electrónicos y reduciendo el tamaño del circuito. El microcontrolador leerá la temperatura actual, y mediante un algoritmo programado, ajustará la temperatura del sistema.

5.4 RELÉ TERMOSTATO

La primera opción en la que se pensó para utilizar como interruptor para conmutar la alimentación de la célula Peltier fue un relé.

El relé es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Finalmente ha sido descartado, dado que la alta conmutación a la que estaría sometido, haría que los contactos metálicos quedasen soldados debido a los microarcos eléctricos generados en la conmutación de alta velocidad.

6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Recordando las especificaciones del proyecto, se crea un sistema de refrigeración mediante una célula Peltier, que será capaz de fijar una temperatura y mantenerla de entre 5 y 10 °C. En la siguiente imagen se muestra el esquema detallado de las partes que componen el proyecto:

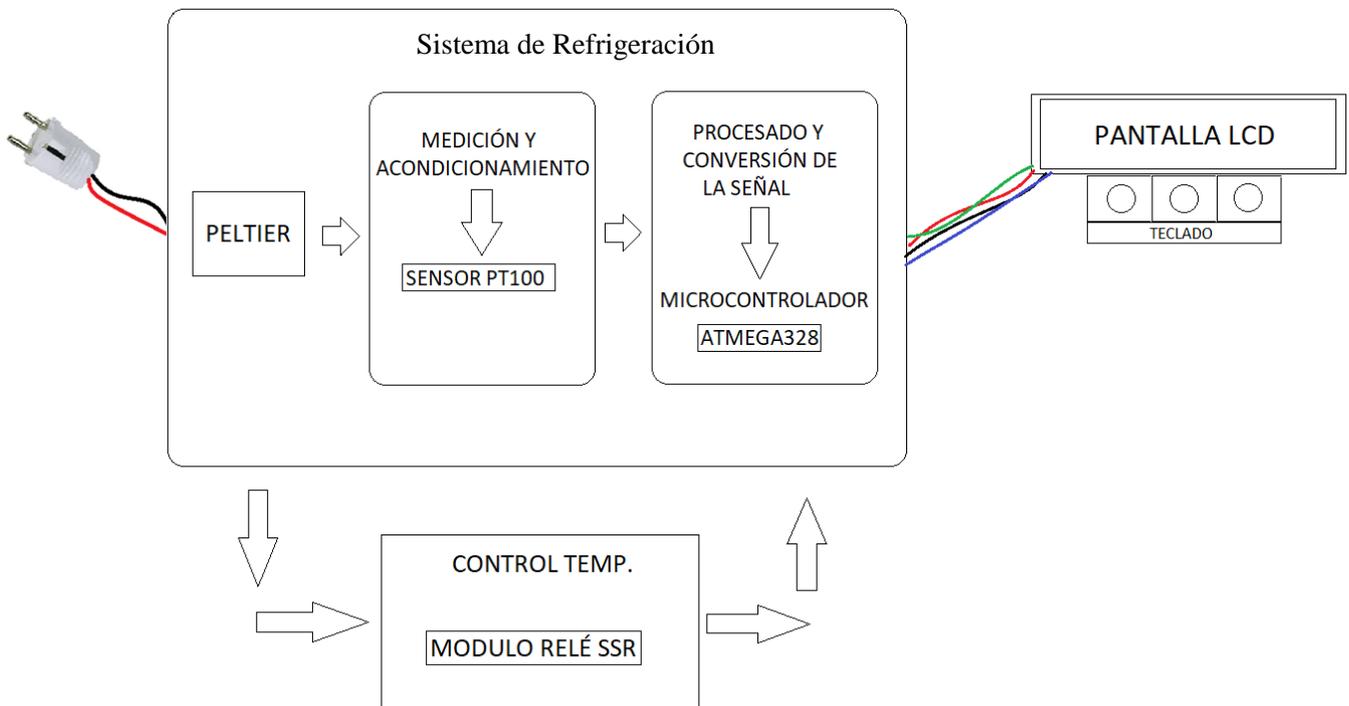


Figura 19. Diagrama de los componentes del proyecto

- Utilizando esta descripción, el primer asunto a tratar es el tipo de componente a utilizar para generar frío.

Dada la complejidad de los sistemas de refrigeración mediante compresor, se decide utilizar una célula Peltier para generar el frío del sistema de refrigeración. Esta célula tiene el inconveniente de que en su principio está implícito que, para generar frío en una cara de su superficie, ha de transportar el calor a la otra cara, por tanto, muy cerca del foco frío a utilizar, existirá un foco muy caliente. Este calor ha de ser evacuado para que la otra cara siga generando frío.

- Es por eso que habrá que pensar en cómo aislar el sistema de tanto calor, y conseguir retener el frío dentro.

Se ensamblan unos disipadores de aluminio en las dos caras de la célula Peltier. Esto hará que el calor o el frío, sean expulsados de la superficie de la célula, yendo el calor al ambiente, y el frío al interior del sistema.

La mejor solución para obtener un sistema aislado del exterior, y que sea capaz de retener el frío en su interior es optar por una caja de poliestireno.

El poliestireno presenta la conductividad térmica más baja de los termoplásticos, por lo que suele utilizarse como aislante térmico.

- Una vez se dispone del generador de frío y del sistema aislado, se implementa el sensor, con su circuito de acondicionamiento.

Para poder utilizar el sensor de temperatura, hay que “traducir” las magnitudes que nos ofrece, a otras magnitudes que queremos obtener. La PT100 es una resistencia, la cual varía su valor óhmico en base a la temperatura que percibe en el ambiente.

Los aparatos electrónicos funcionan con valores de tensión, no con valores óhmicos, por lo que hay que convertir la señal.

Para ello se opta por el circuito denominado Puente de Wheatstone en configuración comparadora. Este circuito consta de dos divisores de tensión. Un canal ofrece una tensión fija, y está compuesto por un valor resistivo fijo del mismo valor que la PT100, y el otro canal está compuesto por la propia PT100 que irá variando en base a los cambios de temperatura.

Existe otro problema añadido, el auto-calentamiento.

Cuando la corriente pasa por el sensor, produce que éste se caliente, pues es una resistencia. Hay que hacer pasar la mínima corriente por él, por lo que la resistencia previa del divisor de tensión, ha de tener un valor elevado para que fluya por la PT100 la mínima cantidad de corriente.

Esto conlleva a otro problema, cuanto mayor sea la resistencia, menor será la salida del divisor, por lo que más habrá que amplificar la señal en el siguiente paso, para llevar la señal al próximo circuito.

- Teniendo los dos canales del puente de Wheatstone operativos, se han de coger las dos señales de tensión, una fija de un canal, y la otra variable del otro canal, y convertirlas en una resultante.

Dado que las señales provenientes del puente son muy pequeñas, se amplifican y se restan utilizando un amplificador operacional en configuración restador, para obtener así una sola señal variable. De esta manera se obtiene una señal que varía entre 0 y 0,5 V para unos valores correspondientes a 0 °C y 30 °C.

- Además, se implementa un circuito de medición de corriente utilizando una resistencia de muy bajo valor óhmico.

Se sitúa una resistencia en serie a la carga, y se mide la caída de tensión en sus bornes. Se conecta un operacional no amplificado en configuración de restador a los bornes de la resistencia y así se obtiene un valor de tensión.

Este dato, se llevará al microcontrolador, que mediante operaciones matemáticas convertirá ese valor de tensión en consumo eléctrico basándose en la Ley de Ohm.

- Se utiliza un módulo relé SSR para la regulación del sistema de refrigeración mediante un sistema de termostato implementado en un microcontrolador, que dará la señal de excitación al relé para que encienda o apague la alimentación del sistema refrigerador.
- Finalmente, los datos son llevados a un microcontrolador ATMEGA328, que ofrece una buena resolución para la medición de temperatura, visualización del consumo eléctrico y control de la temperatura.

Se creará un menú en una pantalla LCD, en el cual podremos navegar a través de tres submenús mediante 3 botones físicos.

El primer submenú muestra la temperatura en tiempo real.

El segundo nos da acceso al submenú del termostato, donde utilizando los botones se podrá ajustar una temperatura.

El último submenú muestra por pantalla el consumo eléctrico en tiempo real de la célula Peltier.

7. MODELIZACIÓN: DISEÑO Y CÁLCULOS

En este apartado se diseña el proyecto a partir de las especificaciones iniciales y de la solución propuesta, realizando cálculos, simulaciones y obteniendo conclusiones sobre cada dispositivo y sus elementos.

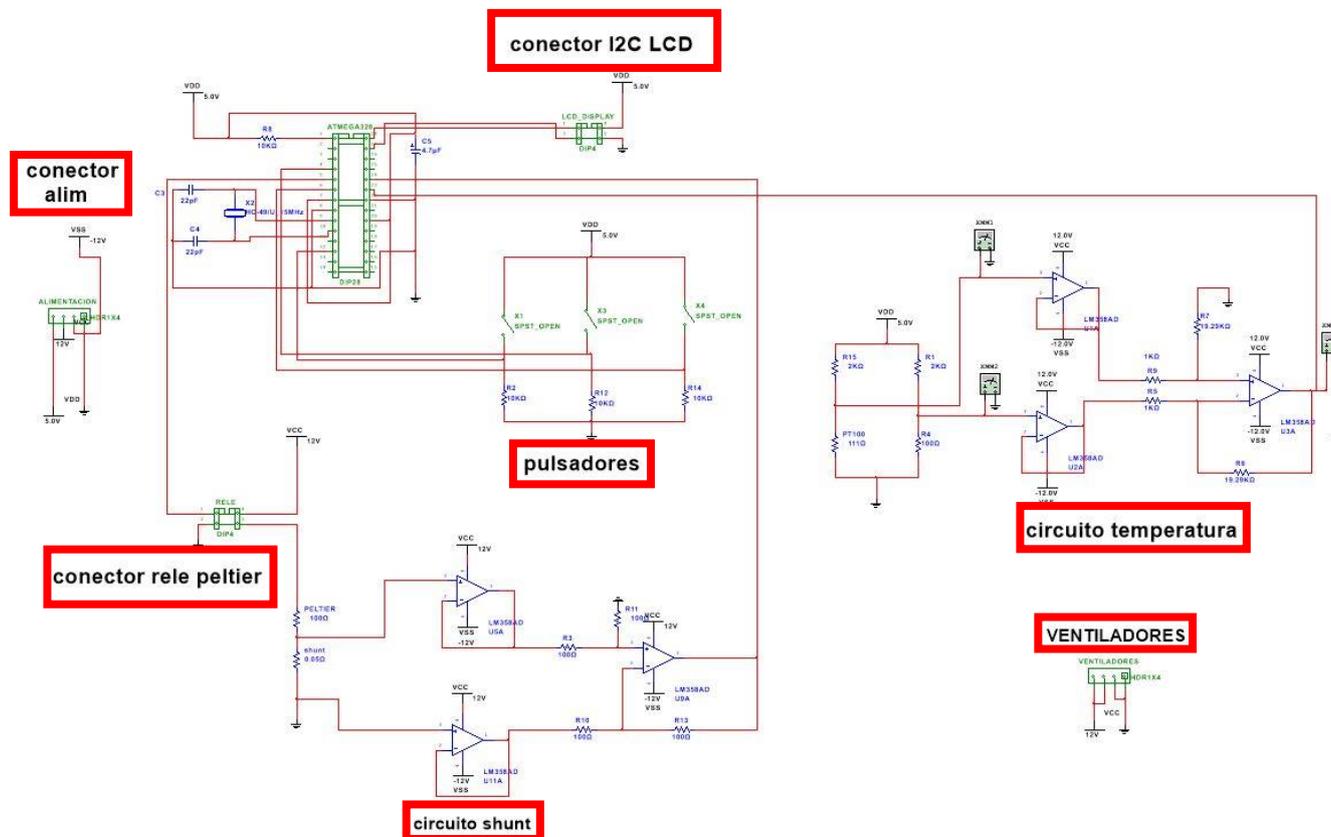


Figura 19. Esquema electrónico del proyecto, realizado mediante NI MULTISIM.

7.1. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

El sensor PT100 medirá temperaturas en un rango de 0-30 °C.

Este rango es tan amplio por la incertidumbre de la medida exacta que habría en el sistema de refrigeración debido a posibles fugas en el misma. Esto haría que el aislamiento térmico no fuese perfecto y no se alcanzase la temperatura mínima que puede proporcionar la cara fría de la célula Peltier.

Como se aprecia en la siguiente imagen, se crea un circuito de acondicionamiento de la señal para obtener la salida deseada y poder representar la sensibilidad de los conjuntos mediante sus curvas de calibración.

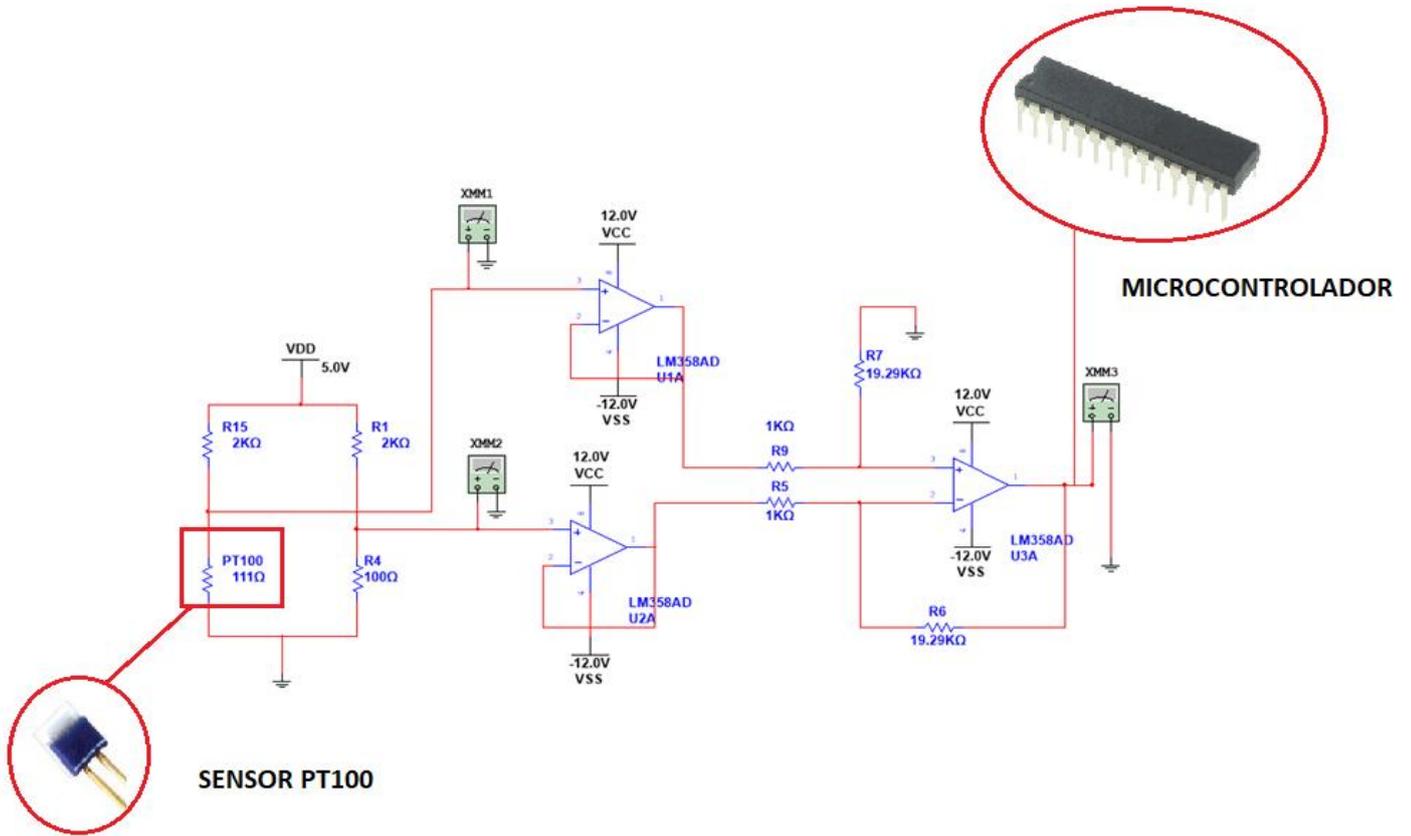


Figura 21. Circuito de acondicionamiento de señal.

En este circuito se analiza un sensor termo resistivo PT100.

Esta nomenclatura se debe a dos factores:

- Es un sensor de platino y posee un parámetro característico.
- A 0 grados se tiene una resistencia de 100 ohmios.

Para corroborar este dato utilizaremos la siguiente formula de las RTD:

$$RTD = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (9)$$

Donde α es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0 °C, interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura.

Tabla 2. Parámetros de resistividad de diferentes materiales.

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad ($\mu\Omega cm$)	10.6	1.673	6.844	5.7
$\alpha(\Omega/\Omega/C)$	0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
$R_0(\Omega)$	25, 50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
margen ($^{\circ}C$)	-200 a +850	-200 a +260	-80 a +230	-200 a +200

Se puede observar que la α es 0,00385 por lo que para los márgenes de temperatura se tienen estos valores óhmicos en la RTD:

$$RTD = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (10)$$

- A 0 $^{\circ}C$:

$$RTD = 100 (1 + 0.00385 * (0 - 0)) \quad (11)$$

$$RTD_{0^{\circ}C} = 100\Omega$$

- A 30 $^{\circ}C$:

$$RTD = 100 (1 + 0.00385 * (30 - 0)) \quad (12)$$

$$RTD_{30^{\circ}C} = 111,5\Omega$$

Una vez obtenidos los valores se procede a realizar un puente de Wheatstone para obtener una salida diferencial.

El motivo de elegir esta configuración es el de poder tener una tensión de referencia para el caso de 0 $^{\circ}C$. De esta forma se dispone de dos tensiones a la salida del puente, la medida proporcionada por la RTD y la medida de referencia a 0 $^{\circ}C$.

Se alimenta el puente a una tensión baja para no producir un efecto de auto calentamiento. Debido a este fenómeno la corriente que pasaría por la RTD calentaría el sensor y falsearía la medida de la temperatura del entorno que se quiere medir.

Por este preciso motivo se utilizan resistencias de 2 k Ω , ya que con 1 k Ω o inferiores se produce auto calentamiento.

Como se observa en la siguiente imagen a la salida las ramas se las tensiones son del orden de milivoltios, acto seguido y antes de amplificar la señal se colocan un par de buffers seguidores de tensión para

adaptación de impedancias y aislamiento electrónico del circuito; así se garantizan los mismos valores de salida del puente en la entrada del amplificador.

Se analizan los cálculos en el puente de Wheatstone:

$$V_{Divisor PT100} = \frac{R_{PT100(30)}}{R_{PT100(30)} + R_{15}} * V = \frac{111}{111 + 2000} * 5 = 0,262V \quad (13)$$

$$V_{Divisor canal 2} = \frac{R_4}{R_4 + R_1} * V = \frac{100}{100 + 2000} * 5 = 0,238V \quad (14)$$

Se verifica en la simulación:

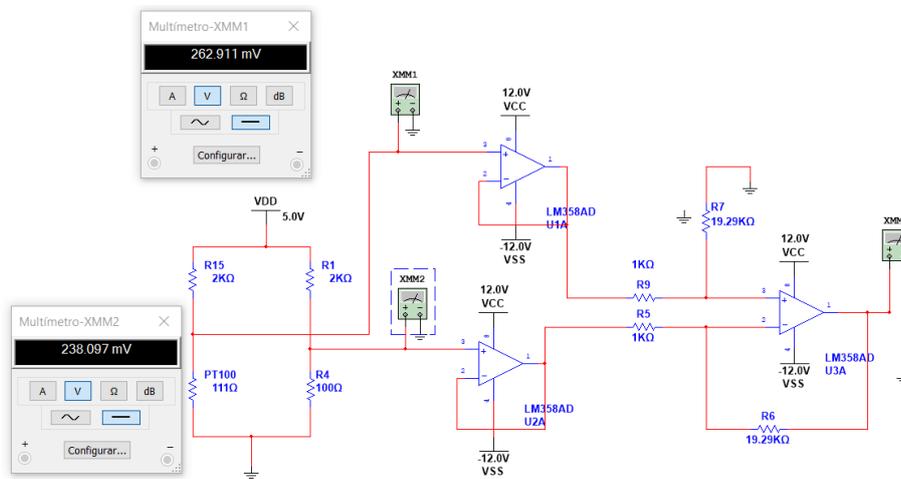


Figura 22. Medida de tensión en las 2 ramas del puente.

A continuación, se debe establecer la cantidad que deseamos a la salida para que el microcontrolador pueda trabajar con ella más adelante.

El microcontrolador opera con tensiones de 0 a 5 voltios por lo que en un principio se pensó en incrementar la señal a ese rango de tensiones. Sin embargo, para amplificar una señal tan pequeña hasta el orden de voltios se necesitaba una ganancia elevadísima, de alrededor de 600 kΩ.

Esta ganancia hacía que el amplificador se saturase y que no realizase la conversión correctamente.

Debido a esto se adecuó el rango de salida hasta obtener 0 y 500 mV respectivamente para 0 y 30 °C.

Para realizar la amplificación se utiliza operacional lm358 en configuración de restador para poder restar las tensiones de ambas ramas y obtener a la salida nuestra diferencia exacta y amplificada.

La configuración es la mencionada en el apartado teórico (Figura 7).

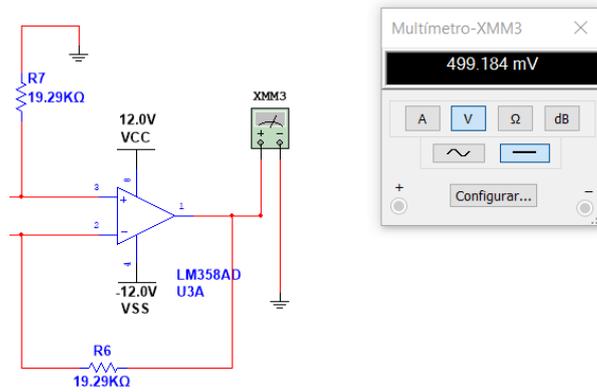


Figura 23. Tensión resultante para 30°C.

El cálculo del valor de la ganancia para obtener 500 mv a la salida con 30°C es el siguiente:

$$V_{OUT} = (V_2 - V_1) * \frac{R_2}{R_1} \quad (15)$$

$$\text{Donde: } R_7 = R_8 = R_2$$

$$R_5 = R_9 = R_1 = 1k\Omega$$

$$500 = (264,145 - 238,097) * \frac{R_2}{1} \quad (16)$$

$$R_7 = R_6 = 19,195 k\Omega$$

$R_2 = 19,24 k\Omega$ es el valor ajustado para una salida de 500 mV

El operacional será alimentado a ± 12 V para poder obtener cero voltios en el caso de llegar a cero grados. Si solo se alimenta a 12 v y GND en la realidad no se obtendrá nunca 0 voltios.

Para la colocación y ajuste de cada resistencia del circuito se han utilizado en un principio potenciómetros multivuelta para fijar el valor exacto deseado en cada uno y fijados con adhesivo líquido para que no se distorsione el valor en algún descuido. Para el montaje final se utilizaron resistencias de precisión además de potenciómetros para valores no estándar.

7.2. MEDICION DE LA CORRIENTE

En ésta ocasión, una resistencia shunt, se encargará de medir el consumo de la célula Peltier. En la figura 24 se muestra el circuito de medición.

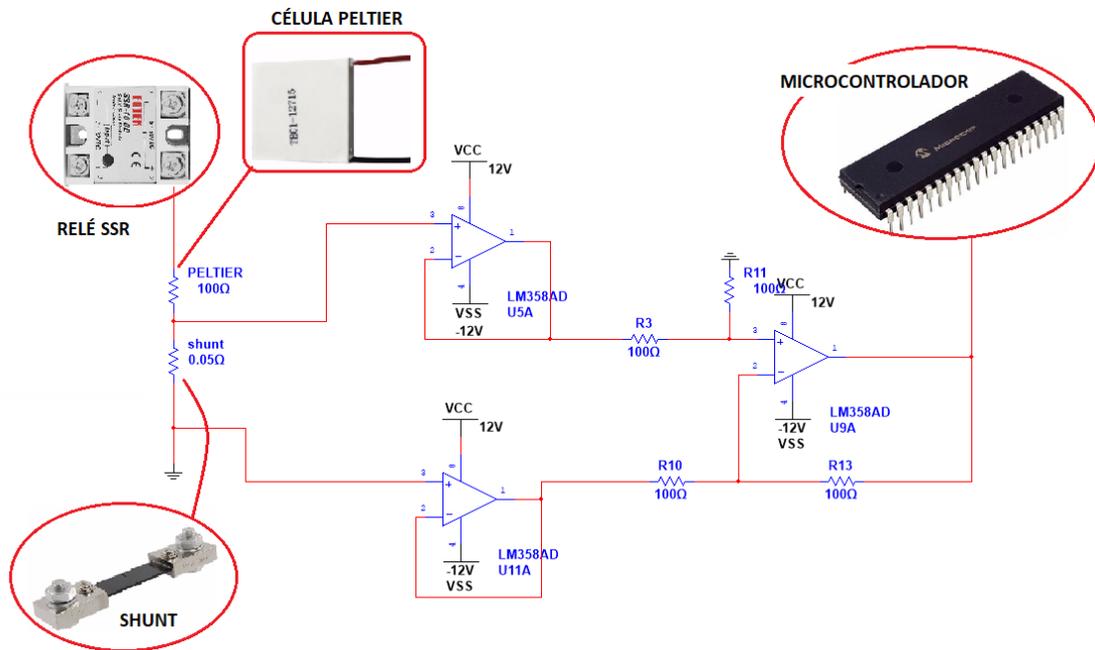


Figura 24. Circuito medición de corriente.

El circuito consiste en colocar una resistencia de muy bajo nivel óhmico en serie con la carga. En este caso se simula la célula Peltier como una resistencia de 100 ohm.

El método de la medición de corriente mediante resistencia shunt, se basa en medir la caída de tensión que se genera en bornes de la resistencia.

La idea es llevar una sola señal al microcontrolador. Es por ello, que se medirá la caída de tensión entre GND y la carga. Se usará un operacional en una configuración de restador. El operacional no se amplificará, por lo que;

$$R_3 = R_{10} = R_{11} = R_{13} = 100 \text{ ohm} \quad (17)$$

En el canal positivo entra la señal de tensión que hay tras la carga, y en el canal negativo, la tensión referida a GND.

El operacional realiza la resta del canal positivo y del negativo, otorgando a la salida una señal de tensión positiva.

Siendo conocido el valor de la shunt, y la tensión de alimentación, se aplica la Ley de Ohm

$$V_{caida\ de\ tensión} = R_{shunt} * I \quad (18)$$

$$I = \frac{V_{caida\ de\ tensión}}{R_{shunt}} = \frac{0,02}{0,005} = 4A \quad (19)$$

$$P_{consumo\ Peltier} = V_{Peltier} * I = 12 * 4 = 48W \quad (20)$$

7.3. IMPLEMENTACIÓN EN MICROCONTROLADOR

En este apartado se explica más detalladamente, el uso que se le ha dado al microcontrolador, describiendo que tipo de señal se lleva a determinadas patillas, para su almacenamiento y procesamiento.

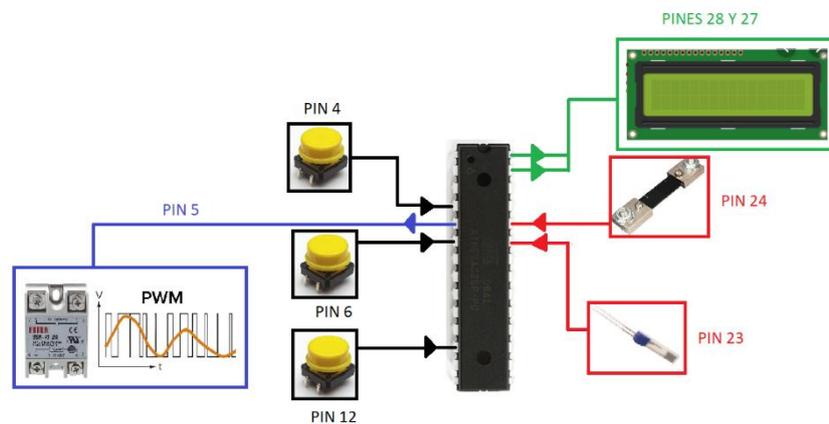


Figura 25. Circuito medición de corriente.

- Pines digitales: los pines 4, 6 y 12 son varios de los pines digitales de los que dispone este microcontrolador. Pueden ser usados como entrada o como salida. En este caso, se han configurado como entrada de datos digitales. Con cada pulsación del botón, el microcontrolador recibe un 1 lógico (5V). Se ha configurado mediante programación, que el microcontrolador interprete como una pulsación, un flanco de subida. De esta manera, sólo recibirá un disparo de señal por pulsación del botón. Así, aunque dejemos pulsado 2 segundos el botón, el circuito no actuará hasta que lo soltemos y lo volvamos a pulsar.

- Pines analógicos: los pines 24 y 23, son entradas analógicas al microcontrolador. A través de estos pines, se introduce la tensión que obtenemos de los sensores. Se utilizan cuando queremos trabajar con un valor numérico determinado, y no con un dato “SI” o “NO”. En este caso, se introducen al microcontrolador las señales de tensión del circuito de medición de la temperatura y la señal de tensión del circuito de consumo eléctrico.
- Pines SDA y SCL: los pines 28 y 27, son los encargados de la transmisión de los paquetes de datos. SCL es un pin de reloj que gobierna la frecuencia a la que el SDA envía datos. En el circuito se ha utilizado para la transmisión de datos a una pantalla LCD de 2x16 caracteres.
- Pin PWM: El pin número 5 DEL ATMEGA328 en este proyecto, es una señal de tensión que va al relé SSR. Esta señal, activará o desactivará la alimentación de la célula Peltier. Para obtener un mejor rendimiento en el control de la temperatura, se ha implementado un algoritmo que mejora la estabilidad de la regulación de la señal. Para ello, se encenderá “más” o se encenderá “menos” la célula Peltier a medida que el sistema se acerque o se aleje del valor fijado en el termostato.

Por ejemplo, si fijásemos una temperatura de 7°C, un sistema simple, activaría la alimentación de la refrigeración cuando el sistema alcanzase los 7.1°C, y lo apagaría al volver a los 7°C, comenzando así un bucle de encendido-apagado constante, reduciendo muchísimo la vida del relé mecánico. En la figura 26 se muestra la secuencia de la señal de tensión descrita anteriormente.

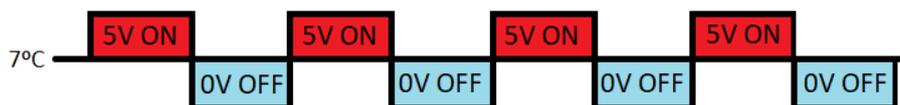


Figura 26. Conmutaciones relé mecánico.

- Lo ideal para utilizar este tipo de regulación de la temperatura, sería disponer de una salida analógica, que fuese ofreciendo diferente tensión en función de lo que se necesite. Dado que este microcontrolador no es capaz de proporcionar una salida analógica real, se simula una señal PWM mediante la conmutación de un pin digital. De esta manera, se irá activando la señal de 5V durante determinados milisegundos por ciclo dando como resultado una tensión media, que variará en función del tiempo ON y OFF de la señal. Esta proporción de On/Off es denominada ciclo de trabajo, y se muestra en la siguiente figura.

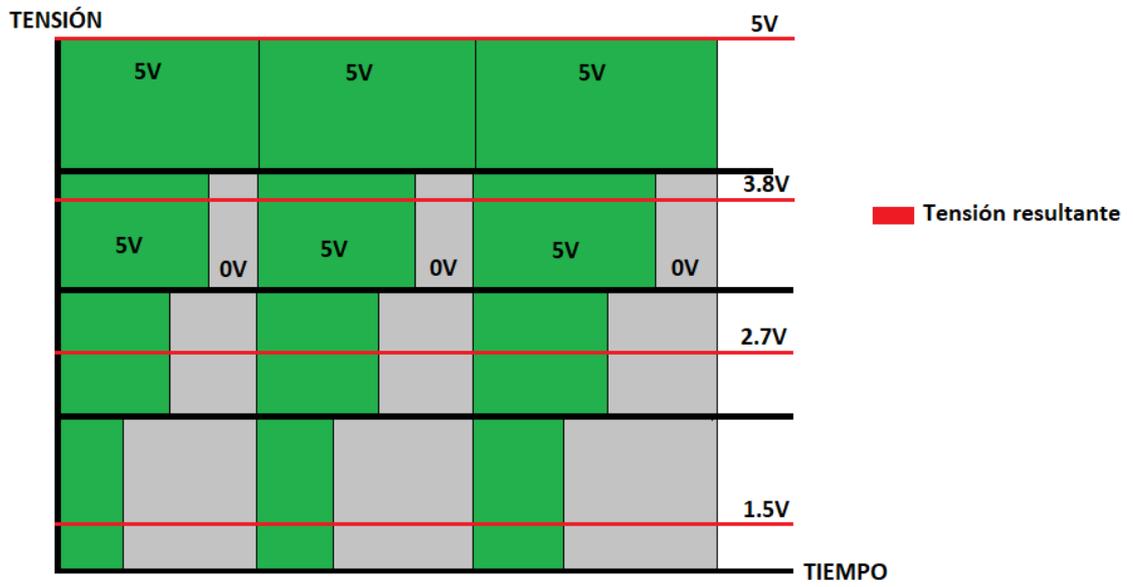


Figura 27. Representación duty-cycle PWM generada por ATMEGA328

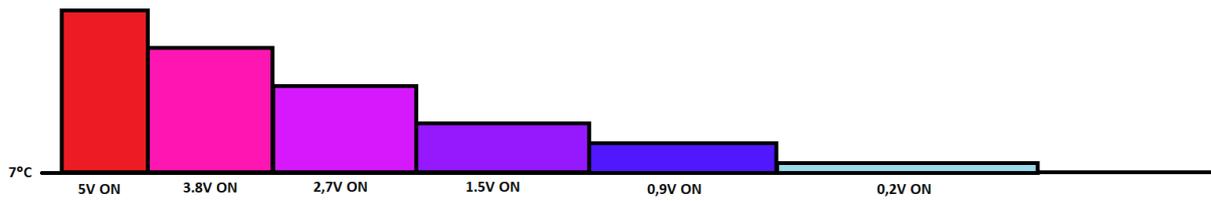


Figura 28. Representación regulación termostato mediante el uso de la PWM

7.3. PROGRAMACIÓN MICROCONTROLADOR

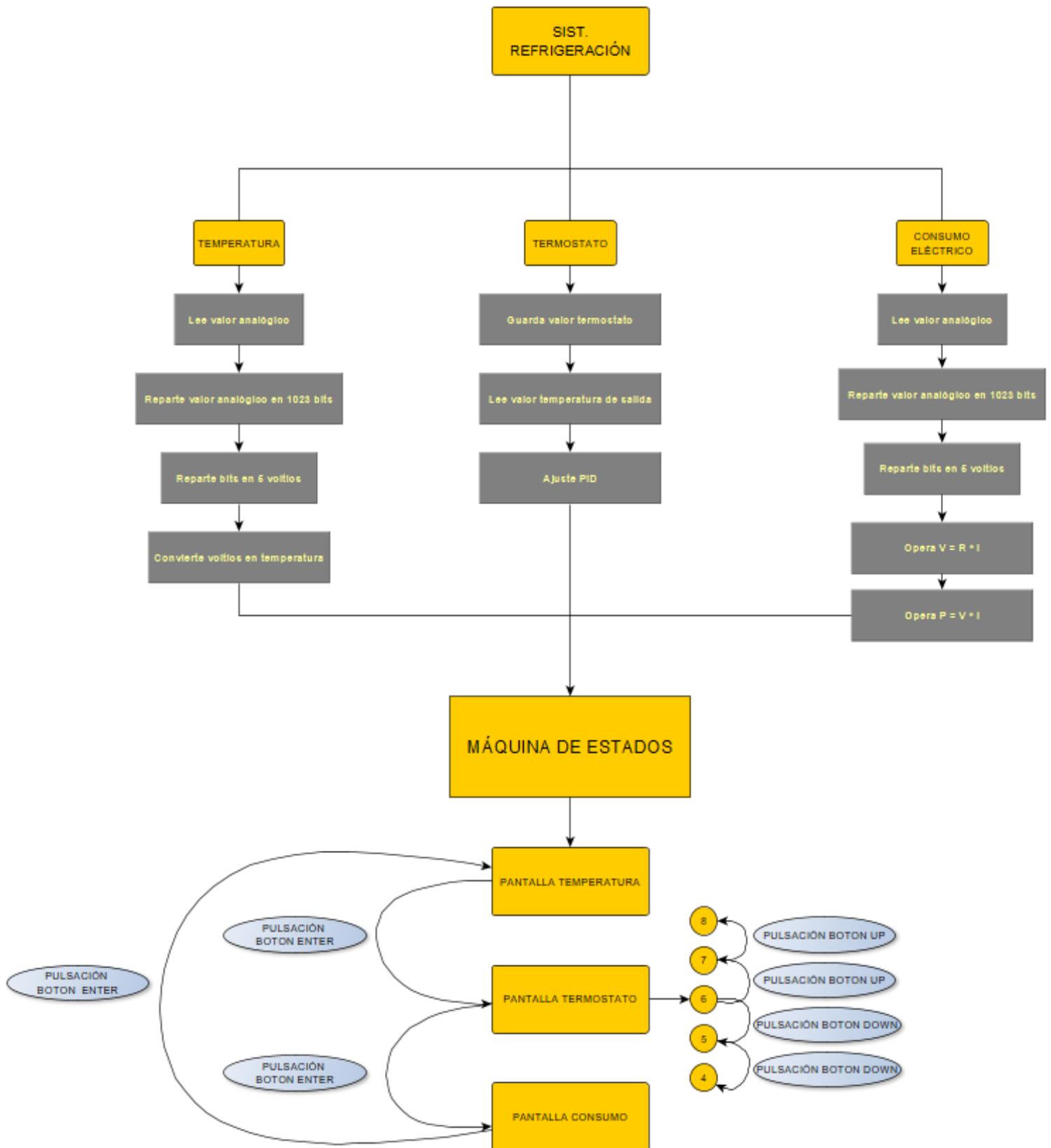


Figura 29. Diagrama de flujo software.

El flujograma de la programación del dispositivo, se puede dividir en varias etapas.

La primera fase ha consistido en dividir los procesos en los que el microcontrolador trabajará en las 3 principales funciones del proyecto:

- Temperatura.
- Termostato.
- Consumo Eléctrico.

Cada una de sus funciones, alberga una programación similar, que consiste en que el microcontrolador recibe las diversas señales eléctricas, las traduce, las opera matemáticamente y las almacena.

- Temperatura: el circuito acondicionador de señal, manda un valor analógico de entre 0 V y 0,5 V al microcontrolador. Éste adecúa el valor a su resolución, y realiza la conversión a temperatura.
- Termostato: el circuito lee el valor fijado por el usuario, y lo compara con el valor que está mostrando por pantalla al usuario. Si el valor de la temperatura está por encima del valor fijado por el usuario, mantiene el dispositivo enfriando. Una vez llega al valor, va reduciendo el tiempo de encendido del dispositivo refrigerador.
- Consumo eléctrico: la corriente pasa a través de una resistencia de muy bajo valor óhmico. Ésta caída de tensión es enviada al microcontrolador, y éste, mediante operaciones matemáticas, convierte esa caída de tensión en consumo eléctrico.

La siguiente etapa consiste en un menú interactivo creado mediante una máquina de estados.

Aquí se programan los menús y submenús por los que el usuario podrá navegar, y serán los menús correspondientes a la temperatura, termostato y consumo eléctrico.

Para navegar a través de ellos, se utilizan tres botones físicos, uno para cambiar de pantalla, y dos para elegir la temperatura del termostato.

Se fija un valor inicial de 6 °C en el termostato, y se utilizará la tecla UP para aumentar éste valor hasta su máximo programado, y el botón DOWN para reducir el valor hasta el mínimo.

8. PROTOTIPADO

En este apartado se muestran las imágenes de la realización de los montajes hardware. Para llegar al resultado del diseño final son necesarios una serie de procesos de montaje y verificación funcional.

1. Prototipo inicial: Se realiza el montaje de los circuitos electrónicos sobre una placa protoboard.
2. Layout: Se optimizan los circuitos previamente verificados con el software NI ULTIBOARD 14.0.
3. Fabricación de PCB: Creación de tarjetas con el circuito electrónico impreso.

8.1. PROTOTIPO INICIAL

Una vez simulados los circuitos y calculado el valor de sus componentes se procede a un primer montaje de los mismos.

La manera más básica es como se ha trabajado a lo largo del Grado, utilizando cableado y colocando los componentes en una placa denominada protoboard. Esta placa tiene railes conductores por debajo de una capa de plástico agujereada la cual se utiliza para insertar los componentes. Un aspecto a tener en cuenta en este método es que los componentes deben ser THT (Through Hole Technology), es decir deben tener las conexiones en forma de eje pasante. Este método es versátil y cómodo ya que se pueden hacer modificaciones sin problemas, sin embargo, no es conveniente a la hora de necesitar precisión ya que es propensa a perturbación electromagnética y a inducir impedancias parásitas:

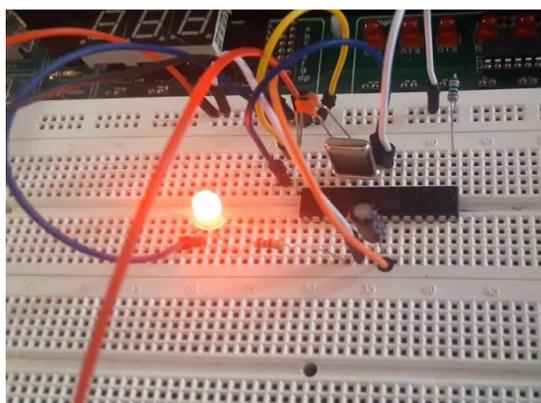


Figura 30. Puesta en marcha del ATMEGA328.

Existe otro método con el que se obtiene más precisión, claridad y seguridad de los circuitos, soldando los componentes THT en una placa de prueba con una cara de cobre con orificios aislados entre si y otra de plástico donde se colocan los componentes. Una vez soldados los componentes mediante estaño y aplicación de calor, se crean las pistas uniendo los orificios con estaño. Este método es más complejo de

montar y es complicado realizar modificaciones. En la figura 31 se puede observar parte del circuito de medición, realizado en una placa de prueba con las pistas hechas en estaño:

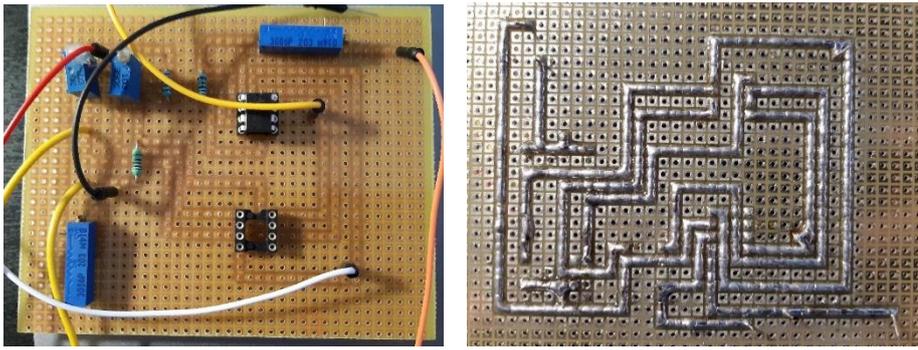


Figura 31. Circuito del sistema de medición en placa de topos con pistas realizadas con estaño.

8.2. LAYOUT

Queda demostrado que sin un estudio previo los circuitos resultantes son grandes y aparatosos y sin un buen material de conducción surgen problemas eléctricos y de funcionamiento. Mediante el programa NI ULTIBOARD 14.0 se pueden transferir las simulaciones de los circuitos en NI MULTISIM.

De esta manera se crea un diseño de pistas que sigue unas normas de funcionamiento estandarizadas y se colocan los componentes de acuerdo a la huella del encapsulado real de cada uno, esto se denomina “footprint”.

Para usar el menor número de cableado posible, se decide realizar todo el circuito electrónico en una misma PCB.

Respecto a los componentes más grandes o externos, como son la pantalla LCD, el módulo del relé de estado sólido, la alimentación de los ventiladores o la célula Peltier, se decide situar en la PCB conectores para enchufar éstos componentes que necesitan cableado obligatoriamente, de ésta manera, se obtendrá una distribución modular como se muestra en la siguiente imagen:

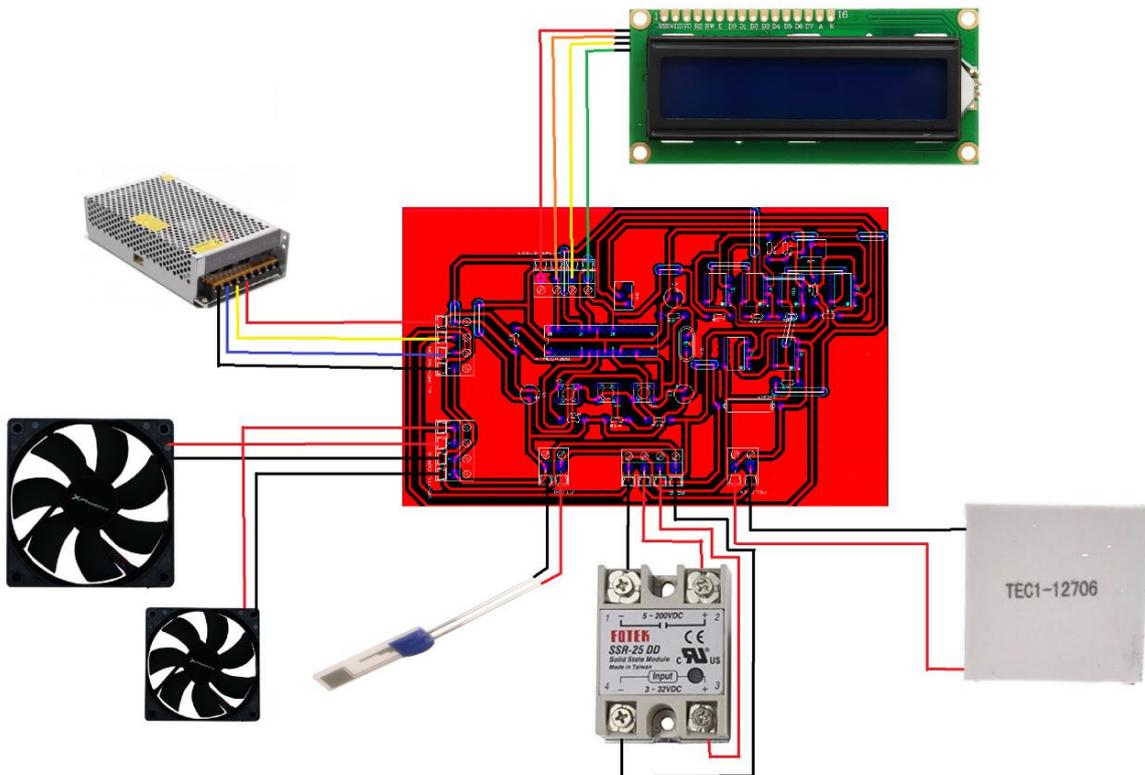


Figura 32. Esquema modular distribución del sist. de refrigeración.

En un principio se realiza un layout distribuido en 2 caras de cobre, denominadas TOP (la cara superior) y BOTTOM (la cara inferior).

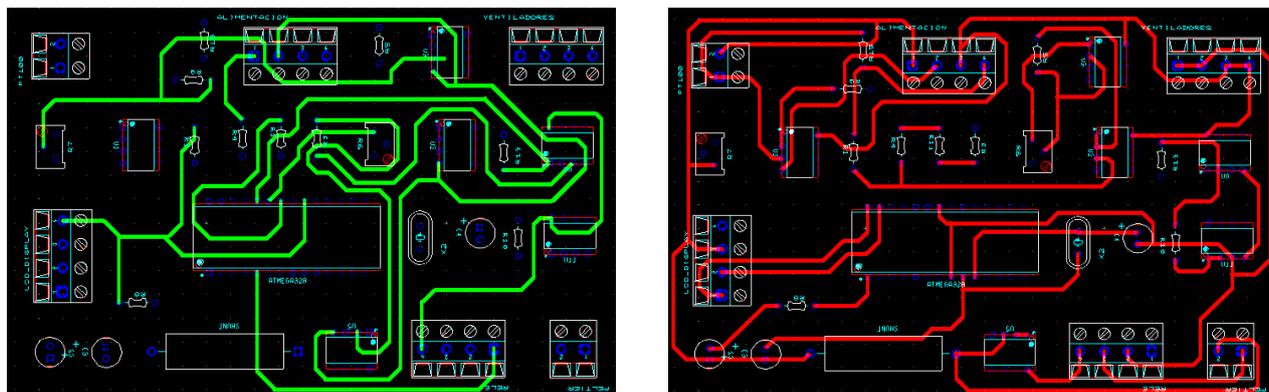


Figura 33. Layout caras TOP y BOTTOM con pistas de cobre en ambas caras.

Cuando la PCB está formada de componentes de montaje superficial, dado que no hay ninguna unión entre las dos caras que hagan de enlace conductor, es necesario colocar las denominadas “vías”.

En las PCB profesionales, las vías son anillos cilíndricos que conectan las dos caras. En una placa no profesional, se podrían realizar introduciendo una pata metálica en un orificio pasante que coincida con pistas en la cara top y en la BOTTOM.

En éste caso ni siquiera haría falta, ya que, al utilizar componentes de orificio pasante, simplemente se suelda por las dos caras.

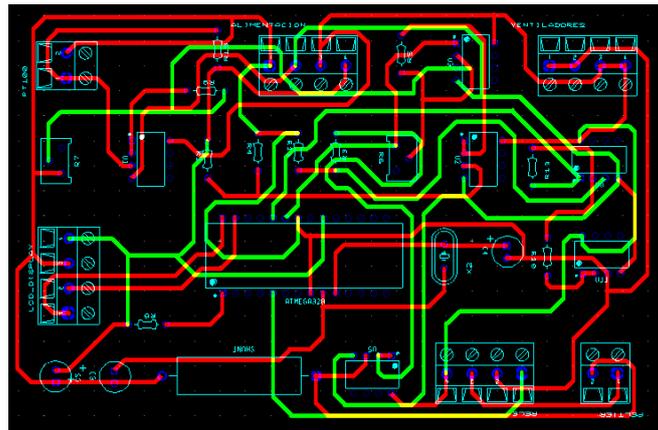


Figura 34. Layout cara TOP y BOTTOM.

Finalmente, se decide invertir más tiempo en mejorar el diseño, con el objetivo de crear una PCB de una sola cara de cobre, donde en una cara se sitúen las pistas y soldaduras, y en la otra los componentes. Se utilizaron puentes debido a la complejidad de hacer todo el circuito en una sola cara en unas dimensiones tan ajustadas.

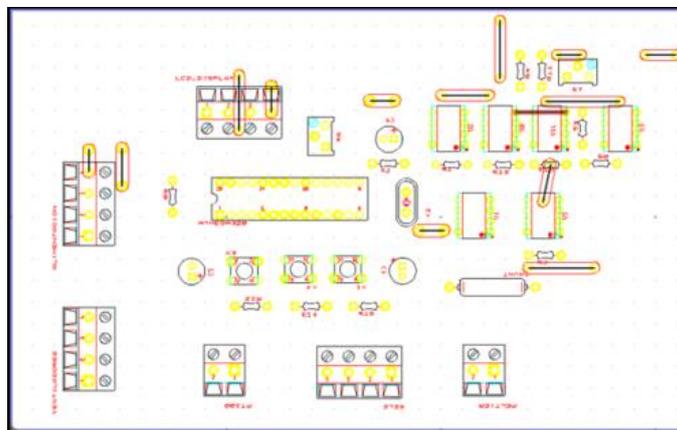


Figura 35. Layout cara TOP donde se sitúan los componentes.

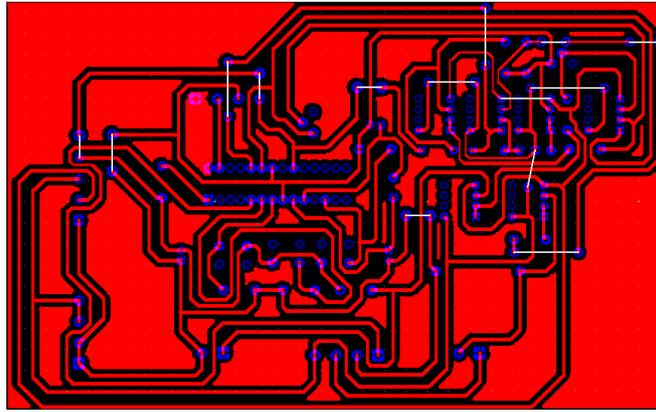


Figura 36. Layout cara BOTTOM donde se sitúan las pistas.

8.3. FABRICACIÓN PCB

Una vez se disponen de los diseños Layout se debe seguir un proceso para transferir dichos circuitos a las placas PCB. Las razones por las que se opta por realizar el prototipo final en estas placas son las siguientes: limpieza, orden, reducción de espacio, minimización de fallos y visión más general del circuito lo cual facilitará mucho posibles modificaciones o corrección de errores.

8.3.1. PREPARACIÓN DEL FOTOLITO

El primer paso es imprimir el diseño de Layout en un fotolito.

El fotolito es la transparencia con el esquema eléctrico impreso que permite imprimir las zonas que se necesiten y dejar el resto en blanco, o en este caso transparente, para que así la luz pueda traspasarlo.

La razón de no elegir un papel normal es que el material de impresión debe dejar pasar a través de él los fotones de luz.

Será conveniente imprimir con una impresora láser en la que se ajustará el tóner al máximo para que la capa de tinta sea lo más densa e impermeable a la luz posible. La luz degradará la capa protectora de las partes expuestas, para que, en los siguientes procesos, la disolución química actúe sobre estas.

8.3.2. PREPARACIÓN DE LA PLACA FOTOSENSIBLE

Cuando se desempaqueta la placa se puede observar que la cara o caras de cobre, que a su vez están cubiertas del barniz, están tapadas por una lámina adhesiva opaca que no deja pasar la luz, esto es así debido a que la propia luz solar durante un tiempo prolongado puede desensibilizar el barniz e inutilizar la placa, por lo que debe ser guardada siempre tapada y trabajar con ella sin luz solar directa.

Hay dos tipos de placa fotosensible, las placas de polímero positivas y las negativas. La emulsión fotosensible positiva actúa de modo que se quema aquello que recibe la luz por lo que el circuito final es el que se había imprimido en el fotolito.

Lo primero es recortar la placa de fibra de vidrio o baquelita necesaria para el proyecto. Para se toman medidas y se corta con cuidado para no levantar el barniz al cortarla, además en el caso de cortarla con una mini amoladora o sierra de calar habrá que tener cuidado de que la placa no se caliente en exceso pues eso podría estropear el barniz.

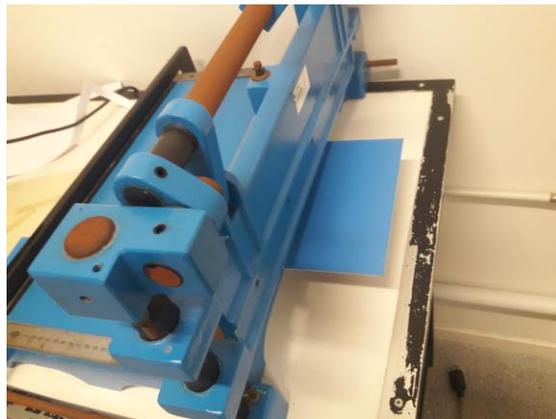


Figura 37. Placa de cobre cubierta con protector opaco. En esta siendo cortada con una cizalla.

8.3.3. PROCESO DE INSOLADO

Una vez se tienen los dos materiales, para asegurar una mayor precisión, se adhiere con cinta, el fotolito a la cara de cobre, teniendo siempre en cuenta la polaridad del fotolito.

Después, se introduce la placa con la cara de cobre mirando hacia los tubos de luz en la insoladora.

Antes de empezar el proceso de insolado se debe limpiar el cristal de la insoladora de polvo y huellas dactilares.

En la siguiente figura se muestra el fotolito sobre la placa fotosensible.

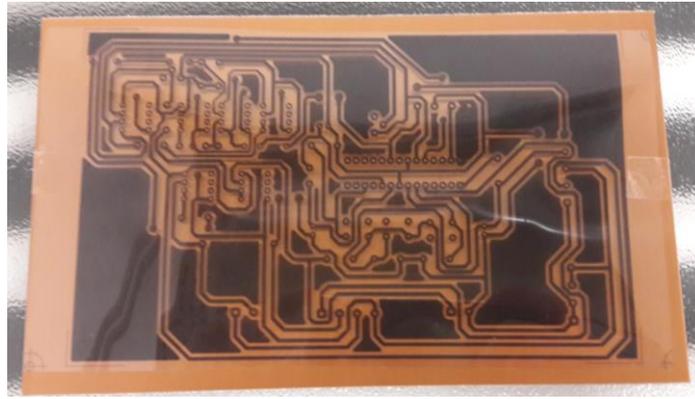


Figura 38. Fotolito sobre placa de cobre fotosensible.

El tiempo de insolado depende del tipo de luz de emisión. Una luz ultravioleta como la del sol, o si se utilizan tubos halógenos ultravioletas, pueden insolar la PCB en menos tiempo. Por otro lado, si se utilizan tubos halógenos convencionales, se necesitará un mayor tiempo de exposición.

En la insoladora de la Escuela de Ingeniería de Bilbao, el proceso de exposición a la luz no debe exceder de 4 minutos.



Figura 39. Insoladora, en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

8.3.4. PROCESO DE REVELADO

Una vez insoladas se introducen las placas en un líquido revelador que hará que la resina fotosensible desaparezca quedando dibujado en la placa el recorrido de las pistas.

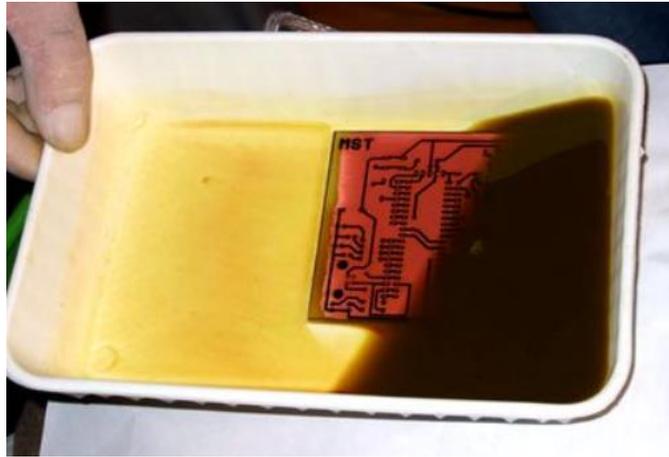


Figura 40. Ejemplo de revelado químico de PCB.

Una vez revelada la placa se limpia el líquido revelador con agua y se seca con cuidado. A continuación, se realiza el atacado químico que eliminara el cobre no deseado de la placa. El atacado se realizará en una campana de extracción para evitar recibir gases nocivos:

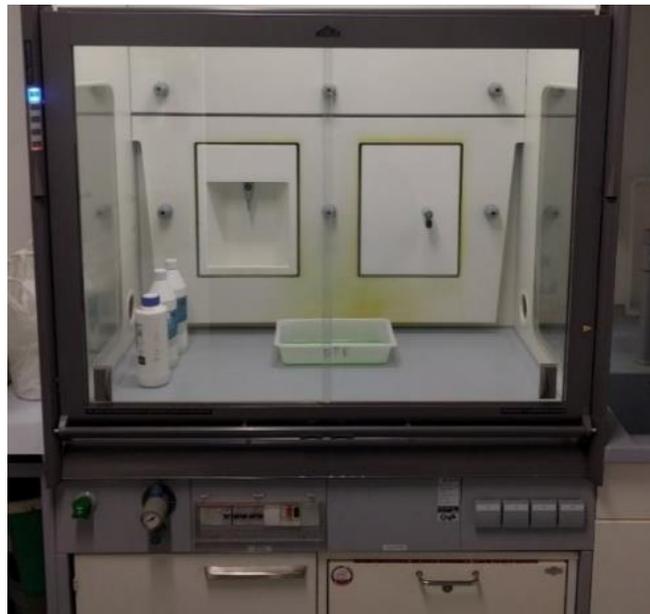


Figura 41. Campana de extracción de gases de la Escuela de Ingeniería de Bilbao.

8.3.5. PROCESO DE ATACADO

El proceso químico se realiza en una bandeja de plástico resistente a este tipo de corrosión. La disolución se realizará agregando una proporción aproximada de 2 unidades de HCl por 1 unidad de H₂O₂. De esta manera el agua oxigenada reaccionará con el ácido clorhídrico creando el ácido que se muestra en la imagen:



Figura 42. Compuesto químico de atacado rápido

Una vez eliminado el cobre se limpia con agua la PCB para eliminar restos de ácido y se realiza un último revelado de 4 minutos en la insoladora para eliminar la resina fotosensible que hubiera quedado y de este modo se facilita el proceso de soldadura de materiales a la hora del montaje.

El resultado final de las placas PCB es el siguiente:

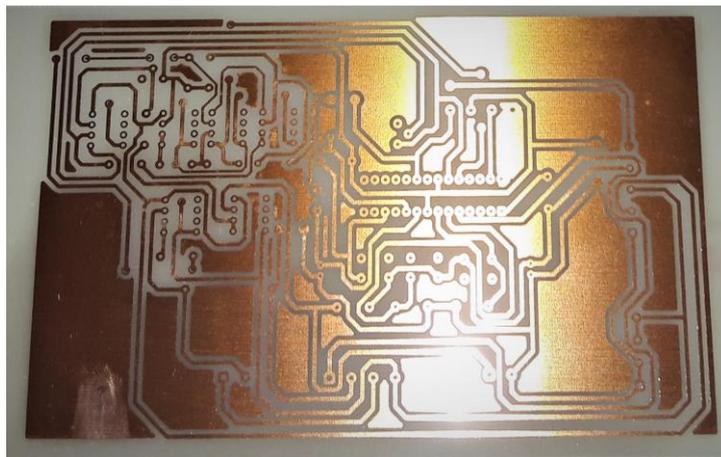


Figura 43. Tarjeta impresa final.

8.3.6. PROCESO DE TALADRADO

Finalmente, solo queda realizar los agujeros adecuados para la inserción de los componentes de orificio pasante.

Este proceso se realiza mediante un taladro, utilizando diferentes brocas en función del componente correspondiente a la huella, por ejemplo, los conectores suelen tener pines de mayor grosor, por lo que su pad, necesitará un taladro mayor.

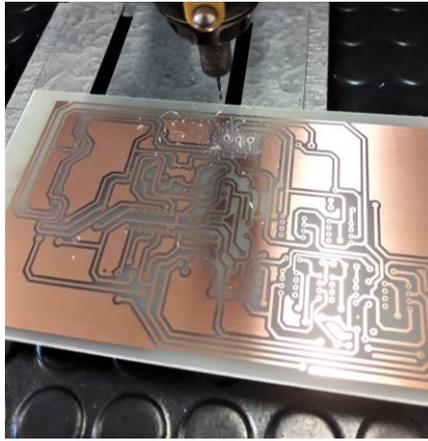


Figura 44. Estación de taladro de la escuela.

8.3.7. PROCESO DE SOLDADURA DE COMPONENTES

Se procede al montaje y soldadura de los componentes electrónicos.

La totalidad de los componentes son de orificio pasante, por lo que no es requerido un soldador con una punta de precisión para realizar soldaduras correctas.



Figura 45. Representación componente de orificio pasante.

Sin embargo, se han de seguir ciertas pautas para realizar correctamente las soldaduras, a continuación, se muestra la secuencia correcta a seguir:

- Insertar el componente en el orificio pasante.
- Se calienta la patilla del componente con el soldador.
- Se aporta filamento de estaño, el estaño se fundirá adhiriéndose a la patilla.
- Retirar primero el estaño mientras el soldador sigue en contacto con el pad.
- Finalmente retirar el soldador.
- Cortar el sobrante de la patilla, nunca llegando a cortar la soldadura.

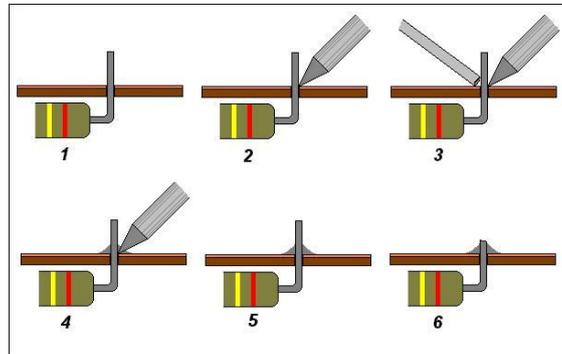


Figura 46. Secuencia soldadura con lápiz.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la calidad de la soldadura realizada.

Una soldadura en mal estado recibe el nombre de soldadura fría. Con este nombre se designa aquella soldadura que ha perdido sus características de cuando se realizó en estado caliente. El principal problema de las soldaduras frías es que el circuito puede funcionar correctamente durante un tiempo, de incluso años.

La causa de las soldaduras frías reside en la aplicación incorrecta del calor. En el proceso de soldadura de un componente electrónico tanto las patillas del componente como las pistas de la pcb necesitan ser calentadas simultáneamente a la temperatura adecuada para posibilitar que el estaño se agarre a dichas superficies. En ocasiones las soldaduras frías permiten un contacto entre la patilla y la pista de circuito impreso, a pesar de no estar realmente soldadas. De esta forma las soldaduras pueden ser válidas durante un período de tiempo más o menos largo, dependiendo de las condiciones físicas y ambientales del entorno en las que se encuentre el circuito: frío, calor, vibraciones mecánicas, etc.



Figura 47. Soldadura fría.

8.3.8. PROCESO DE VERIFICACIÓN

Una vez realizadas las soldaduras, se verificará la continuidad eléctrica de toda la PCB, asegurando así el conexionado pin a pin.

Para ello, se utiliza un multímetro en modo continuidad. El multímetro emite generalmente un zumbido cuando al tocar con las dos puntas del multímetro, tocamos una misma pista eléctrica.



Figura 48. Modo continuidad multímetro para verificación de pistas de la PCB.

8.4. MONTAJE FINAL

Tras soldar todos los componentes en la PCB y verificar su continuidad eléctrica como se ha descrito en el apartado anterior, se ha procedido a la puesta en marcha.

A la PCB se conectan los diferentes módulos a continuación mencionados:

- Célula Peltier.
- Relé de estado sólido.
- Conector de alimentación.
- Ventiladores.
- Pantalla LCD.
- Sensor PT100.

En la siguiente figura se observa la PCB por ambas caras. En la cara superior se aprecian los componentes y los conectores, y en la cara inferior las soldaduras de las pistas de cobre.

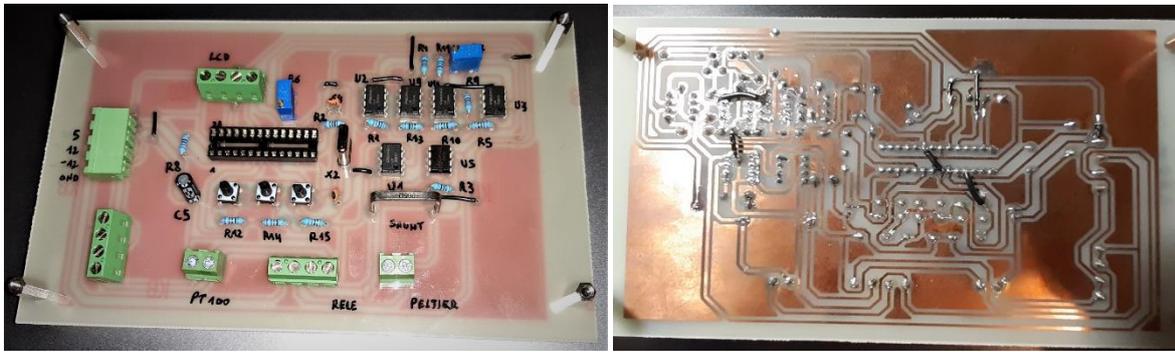


Figura 49. PCB sistema de refrigeración mediante célula Peltier.

Una vez conectado todo, se puede observar que la pantalla LCD luce con el primer menú, “TEMP. Grados” que muestra la temperatura leída por el sensor en tiempo real. Esta temperatura variará a lo largo del tiempo en función de la temperatura en el interior de la caja de poliespan.

Pulsando el botón Enter, la pantalla cambia al siguiente menú “TERMOSTATO”, mostrando la temperatura de termostato prefijada, que se puede incrementar con otro botón Up , y decrementar con el botón restante Down.

Se aprecia como el SSR (Solid State Relay) conmuta entre ON/OFF mediante el parpadeo de un LED (Light-Emitting Diode) a medida que la temperatura del sistema se aproxima a la temperatura prefijada en el menú.

Finalmente, se puede ver el último menú denominado “CONSUMO” pulsando el botón Enter de nuevo. Este menú muestra el consumo eléctrico del sistema de refrigeración.

En la figura 50 se puede ver los diferentes menús del sistema de refrigeración, así como el sistema de refrigeración completo en la figura 51, formado por los diversos módulos ya mencionados.



Figura 50. Menú interactivo.

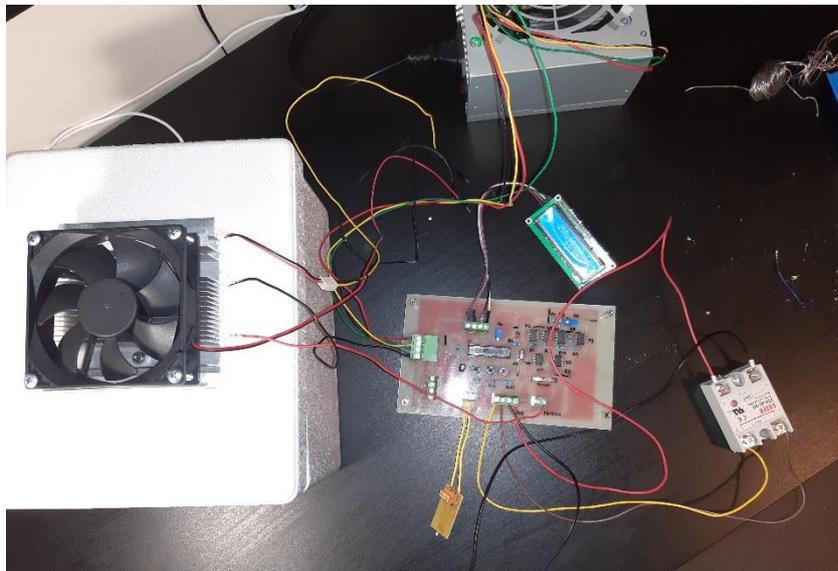


Figura 51. Sistema de refrigeración.

9. DIAGRAMA DE GANTT

El proyecto se ha dividido en tareas. Para cada tarea se ha definido a su vez objetivos y entregables. Algunas tareas, en función de su complejidad se han dividido también en subtareas.

A continuación, se exponen las diferentes tareas realizadas a lo largo de la elaboración del proyecto:

	<p>Objetivo: Diseño general del proyecto y asignación funcional de cada dispositivo, estableciendo los requerimientos básicos y su disposición.</p> <p>Entregable: Definición de requerimientos teóricos y diagrama general del proyecto.</p>
Tarea 1	<p>Subtarea 1.1 Objetivo: Estudio y selección de los procesos necesarios para un sistema de refrigeración.</p> <p>Entregable: Estudio sobre las células Peltier y su funcionamiento.</p>
	<p>Subtarea 1.2 Objetivo: Distribución de los bloques funcionales de la mejor manera para conseguir eficiencia y ergonomía.</p> <p>Entregable: Esquema de distribución funcional.</p>
Tarea 2	<p>Objetivo: Estudio teórico fundamental de los requerimientos iniciales del proyecto para determinar cómo funcionan y valorar diferentes vías de desarrollo.</p> <p>Entregable: Redacción de parte de la memoria técnica. Fundamentos teóricos sensores de temperatura.</p>
	<p>Objetivo: Estudio profundo de las alternativas en cada bloque funcional y elección de las más adecuadas según su adaptación para con los objetivos iniciales del proyecto.</p> <p>Entregable: Redacción de parte de la memoria técnica. Análisis de alternativas y Descripción de la solución propuesta.</p>
Tarea 3	<p>Subtarea 3.1 Objetivo: Estudio y elección de tipo de alimentación.</p> <p>Entregable: Documentación de propuestas para la alimentación del circuito.</p>
	<p>Subtarea 3.2 Objetivo: Estudio y elección del tipo sensor de temperatura.</p> <p>Entregable: Documentación sobre tipo de sensor de temperatura y su medición.</p>
	<p>Subtarea 3.3 Objetivo: Estudio de circuitos de acondicionamiento para sensores resistivos.</p> <p>Entregable: Fundamentos teóricos de circuito acondicionador de señal.</p>

Objetivo: Diseño y simulación de cada bloque funcional seleccionando los componentes necesarios de acuerdo a sus cálculos pertinentes.

Entregable: Esquemas electrónicos modelización y diseño. Simulaciones Multisim.

Tarea 4

Subtarea 4.1 **Objetivo:** Cálculos y simulación del circuito medición de temperatura

Entregable: Circuito puente de Wheatstone con RTD.

Subtarea 4.2 **Objetivo:** Cálculos y simulación del circuito termostato con relé.

Entregable: Circuito termostato con relé.

Subtarea 4.3 **Objetivo:** Cálculos y simulación del circuito de medición de consumo.

Entregable: Teoría SHUNT y circuito medición de corriente.

Tarea 5

Objetivo: Estudio implementación ATMEGA328. Realizar la programación del microcontrolador.

Entregable: Código fuente.

Tarea 6

Objetivo: Construcción de los prototipos de las simulaciones en protoboard con los componentes calculados y cableado. Se requiere verificar el funcionamiento visto en las simulaciones.

Entregable: Circuitos electrónicos realizados en protoboard y su funcionamiento.

Objetivo: Construcción del diseño final en placas PCB

Entregable: Prototipado. Diseño del Layout y fabricación PCB.

Tarea 7

Subtarea 7.1 **Objetivo:** Estudio y diseño de las simulaciones transferidas al programa ULTIBOARD para la elaboración del Layout de cada circuito.

Entregable: Layout de los circuitos impreso en fotolitos

Subtarea 7.2 **Objetivo:** Construcción de los circuitos en placas PCB.

Entregable: Prototipo final.

Tarea 8

Objetivo: Elaboración del Presupuesto para la elaboración del proyecto y redactar las conclusiones alcanzadas a partir de los resultados obtenidos.

Entregable: Redacción de parte de la memoria técnica. Costes y conclusiones.

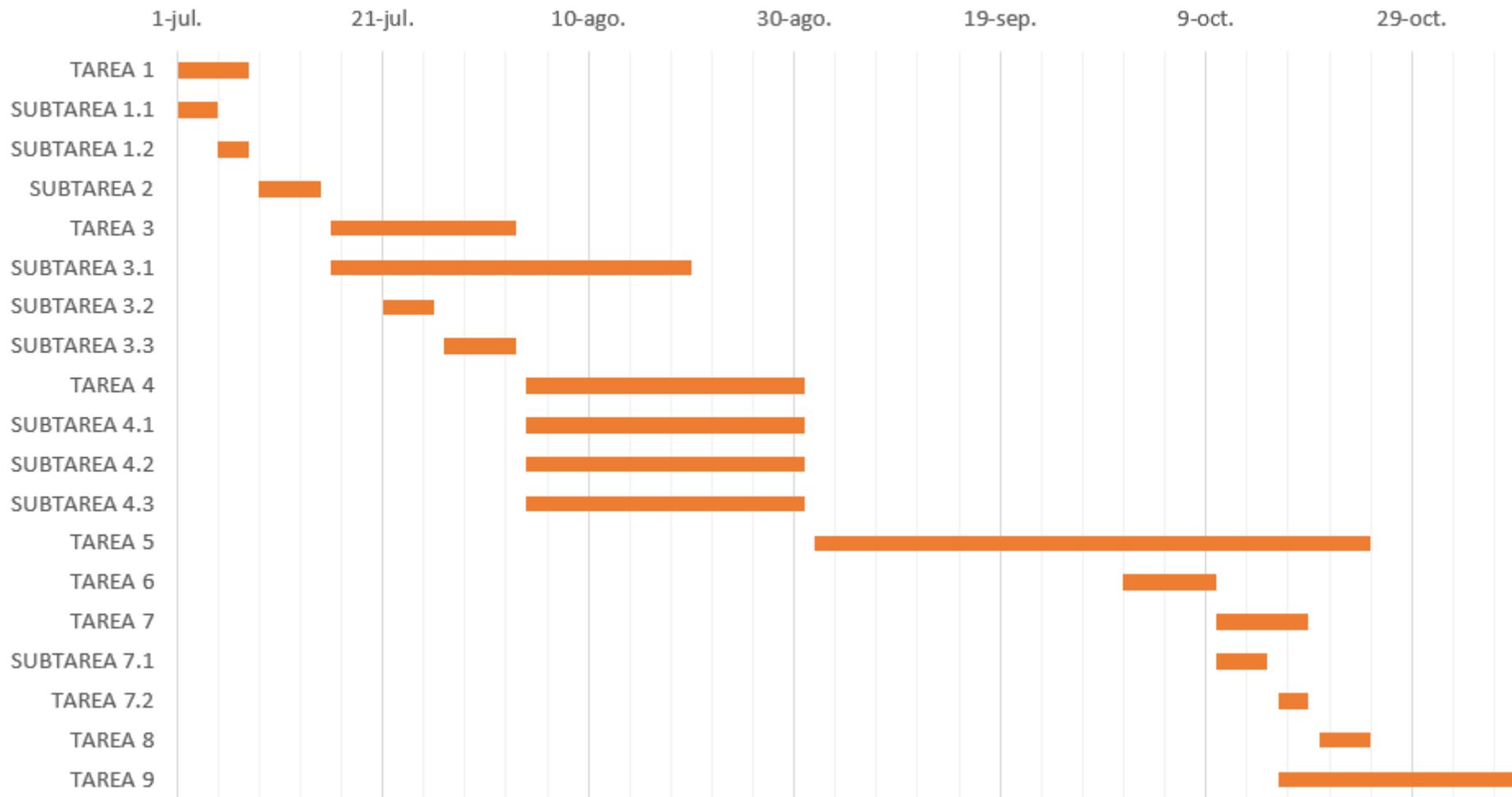
Tarea 9

Objetivo: Verificación PCB con componentes. Pruebas y ajustes. Ensamblado del sistema de refrigeración.

Entregable: Sistema de refrigeración.

En la página siguiente se muestra la duración e interrelación de las tareas y subtareas en un diagrama de Gantt.

Diagrama de Gantt



10. ESTUDIO ECONÓMICO

En el presente documento se especifican los costes asociados a la elaboración del estudio, diseño y realización hardware del presente proyecto. Los costes, por tanto, se encuentran desglosados en los siguientes grupos:

- Mano de obra
- Licencias de software
- Material

El valor de los costes asociados a la compra del material necesario para la implementación del sistema de refrigeración mediante célula Peltier, presente en este presupuesto coincide con el precio de venta al público suministrado por cada uno de los fabricantes. Del mismo modo, el valor de los costes de las diversas licencias de software que se especifica en este presupuesto coincide con el valor de precio de venta a usuarios particulares.

10.1. MANO DE OBRA

En este apartado, la mano de obra se divide en desarrollo por ingeniero junior, de supervisión por ingeniero senior y técnica atendiendo a la naturaleza de las tareas realizadas, siendo éstas el desarrollo conceptual, la dirección del desarrollo y el montaje del sistema, respectivamente. Con ello, la siguiente tabla especifica los costes asociados a la mano de obra para unas determinadas horas de trabajo.

Tabla 3. Estudio económico de la mano de obra

Tipo de mano de obra	Concepto	Cantidad (horas)	Coste horario (€/h)	Coste total (€)
Ingeniero junior	Estudio y diseño	400	12	4.800
	Realización técnica	150	10	1.500
Ingeniero senior	Supervisión	50	24	1.200
Subtotal				7.500 €

10.2. LICENCIAS DE SOFTWARE

A continuación, se muestran los costes de las diversas licencias de software empleadas durante el desarrollo del estudio

Tabla 4. Estudio económico de las licencias software

Licencia de software	Tipo de licencia	Coste unitario (€/u)	Coste total (€)
NI Multisim 14.0	Estudiante	685,00	Amortizado
NI Ultiboard 14.0	Estudiante	685,00	Amortizado
Microsoft Office 2016	Estudiante	149,00	Amortizado
Subtotal			Amortizado

10.3. MATERIAL

A continuación, se muestran en forma de tabla los costes asociados a la adquisición del material necesario para la elaboración del estudio, así como para la implementación de los dispositivos propuestos a lo largo de dicho estudio.

Tabla 5. Estudio económico del material de estudio y realización

Material de estudio	Concepto	Cantidad	Coste unitario (€/u)	Coste total (€)
Xiaomi Notebook Pro	Ordenador portátil	1	999	Amortizado
Documentos biblioteca EHU	Libros y documentación	3	0	Amortizado
ATX 500W	Fuente alimentación	1	15	Amortizado
Multímetro	Equipo laboratorio	1	277	Amortizado
Subtotal				Amortizado

Material de realización	Concepto	Cantidad	Coste unitario (€/u)	Coste total (€)
Conector 4 pines	Conector	3	1,194	3,582
PT100	Sensor	1	1,65	1,65
Pulsador	Switch	3	0,111	0,333
Pot. 25K	Potenciómetro	2	2,06	4,12
LM358	IC	5	0,754	3,77
Res. 10K	Resistencia	4	0,306	1,224
Res. 100	Resistencia	5	0,442	2,21
Res. 2K	Resistencia	5	0,249	1,245
Res. 1K	Resistencia	2	0,229	0,458
T. 4 pines macho	Conector	1	0,301	0,301
T. 4 pines hembra	Conector	1	0,882	0,882
LCD 16X2	Display	1	8,27	8,27
ATMEGA328P	Microcontrolador	1	1,69	1,69
C22Pf	Condensador	2	0,197	0,394
C16mhz	Cristal	1	0,43	0,43
CAP 4.7 uF	Condensador	1	0,053	0,053
Dil28	Zócalo	1	0,67	0,67
C. 2 pines	Conector	2	0,558	1,116
Peltier	Kit	1	16,99	16,99
SSR DC-DC	Relé	1	13,05	13,05
PWB revestido de cobre	Placa PCB	4	12,50	Amortizado
Fixpoint 51062	Bobina de estaño	1	9,50	Amortizado
CD-2BQE Estación JBC	Soldador	1	419,87	Amortizado
Multi Mini grinder 230v Q1K FD	Taladro	1	100	Amortizado

Vitrina de gases con Secuflow	Campana extracción	1	5.000	Amortizado
Insoladora DS0-A2	Insoladora	1	925,65	Amortizado
Bungard Revelador	Revelador químico	1	14,20	Amortizado
H_2O_2+HCL Proporción 1:2	Atacador rápido químico	1	12,92	Amortizado
KINYOOO broca de acero 3mm	Broca	1	0,89	Amortizado
KINYOOO broca de acero 1.2mm	Broca	1	0,89	Amortizado
KINYOOO broca de acero 0.8mm	Broca	1	0,89	Amortizado
Cable rígido 0,5mm	Bobina cable rígido	1	3,40	Amortizado
Subtotal				72,428 €

COSTE FINAL:

Tabla 6. Coste final de realización del proyecto

Tipo de coste	Coste total (€)
Mano de obra	7.500 €
Material necesario para el estudio del proyecto	0
Material necesario para la implementación del proyecto	72,428 €
Licencias software	0
TOTAL	7.572,428 €

11. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos iniciales se concluye que se ha conseguido realizar de manera satisfactoria el diseño y fabricación de un sistema de refrigeración mediante célula Peltier, utilizando los recursos disponibles.

Se ha conseguido diseñar un proyecto viable, seleccionando componentes específicos, y determinando valores nominales de diversos componentes mediante cálculos teóricos.

A su vez ha sido posible la implementación del diseño, en un dispositivo físico creando una PCB diseñando y fabricándola con herramientas específicas, para asegurar su correcto funcionamiento.

Por otro lado, a lo largo del proyecto se ha ido contrastando que la teoría conocida y los conocimientos absorbidos a lo largo del grado universitario, no siempre son suficientes para poder diseñar, y construir un sistema electrónico:

Gran cantidad de problemas han surgido debido al uso de componentes ideales en las herramientas de simulación, frente a los componentes reales utilizados en la construcción del prototipo.

Conceptos eléctricos funcionales en entornos matemáticos o en entornos de simulación, suponen problemas reales a la hora de su implementación.

Aprendiendo de cada error, se ha conseguido construir un dispositivo capaz de recoger datos de un sensor, procesarlos y ofrecer la salida deseada, habiendo seleccionado cada componente ajustado a los cálculos realizados.

Se ha observado también, la necesidad de tener un gran conocimiento en la utilización de las herramientas de simulación, y de creación de circuitos impresos, para obtener un dispositivo más eficiente y de más calidad.

Para ello se ha seguido un proceso metódico de estudio teórico fundamental, selección de la mejor alternativa en base a criterios específicos de operación y diseño y construcción del prototipo planteado.

Otra de las observaciones es, el gran coste económico que supondría la realización y construcción de un dispositivo electrónico, debido al material de estudio, y herramientas informáticas y de montaje.

Para concluir, destacar la gran importancia del uso de microcontroladores en el avance de la tecnología. Es muy interesante la gran cantidad de circuitería analógica que puede ser prescindible utilizando microcontroladores, con el ahorro económico que ello supone.

En lo que se refiere a nivel personal, cabe destacar la cantidad de problemas inesperados que surgen en un diseño electrónico de estas características, donde el factor error puede aparecer tanto en conceptos teóricos, cálculos matemáticos, errores de simulación, errores de programación y muy frecuentemente en el montaje y soldadura de la PCB del dispositivo.

12.BIBLIOGRAFÍA

Libros

- [1] Pérez García, M.; Instrumentación Electrónica. Thomson. 2008. ISBN: 9788428337021
- [2] Moreno Muñoz, A. Córcoles Córcoles, S.; Aprende Arduino en un fin de semana. Independently published. 2017. ISBN: 9781522048732.

Páginas web

- [3] <http://www.profesionalreview.com/2018/10/16/que-celula-peltier/> (29/10/2019)
- [4] <http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-peltier/> (29/10/2019)
- [5] <https://www.rinconingenieril.es/como-conectar-una-pt100/> (29/10/2019)
- [6] <https://www.minitronica.com/como-grabar-el-bootloader-en-el-atmega328p/> (29/10/2019)
- [7] <https://www.arduino-libraries.info/libraries/liquid-crystal-i2-c/> (29/10/2019)
- [8] <https://playground.arduino.cc/Code/FiniteStateMachine/> (29/10/2019)
- [9] <https://www.arduino-libraries.info/libraries/bounce2> (29/10/2019)
- [10] https://github.com/br3ttb/Arduino-PID-Library/blob/master/PID_v1.h (29/10/2019)
- [11] <https://giltesa.com/2011/09/06/fabricacion-de-circuitos-impresos-metodo-de-la-insoladora>(29/10/2019)
- [12] https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9_de_estado_s%C3%B3lido (29/10/2019)
- [13] <https://www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador/> (29/10/2019)