

Trabajo Fin de Grado

Diseño y Fabricación de un Termostato Digital de Control

Eduardo Rodríguez Fuentes

Grado en Ingeniería Radioelectrónica Naval

Convocatoria de Julio

Curso 2018/2019

Tutoras:

Sara González Pérez

Cintia Hernández Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Fin de Grado supone la culminación de la mayor parte de un maravilloso “viaje” que comenzó en el invierno de 2013, con 43 años, y que consistía en llegar a ser primero ingeniero, antes de cumplir los cincuenta y luego seguir formándome para alcanzar mi objetivo final de convertirme en profesor. Y este “viaje” comenzó con un fascinante reto que la primera vez que lo escuché me pareció absolutamente imposible de realizar dadas mis aptitudes en aquel momento después de más de 20 años sin estudiar y encima en un ciclo de la rama de ciencias siendo yo de bachillerato de letras puras con latín y literatura.

Tal reto me fue “propuesto” por mi profesor del Ciclo Formativo de Grado Superior de Sistemas de Telecomunicaciones e Informáticos, Francisco Afonso Palmero, Ingeniero en Telecomunicaciones, quien en ese momento descubrió en mí unas condiciones que nadie había observado antes, ni siquiera yo mismo. Él vio en mí un ingeniero en potencia y sus palabras “Tú puedes ser ingeniero, tienes virtudes para ello” se me clavaron en la mente y se convirtieron en un objetivo primordial para mí. No podía fallarle a Paco. Para él va mi primer agradecimiento por su constante apoyo y seguimiento hacia mi persona y por enseñarme el camino para llegar a ser un gran docente como lo es él. También hago extensivo este agradecimiento al resto de profesores de la Escuela Profesional Salesiana “San Juan Bosco” como: Jerónimo, Santiago, Garrido, Alexis y Gregorio, entre otros, a los que tengo en muy alta estima.

Absolutamente fundamental, durante todo este tiempo, ha sido el apoyo y amor recibido de mis padres, Pedro y María Elena, que siempre han permanecido a mi lado proporcionándome la estabilidad y seguridad necesarias para afrontar un reto como éste y a mi edad.

Tampoco puedo olvidarme de incluir en los agradecimientos a mi hermano, Carlos Javier Rodríguez Fuentes, Doctor en Económicas y profesor titular de la Universidad de La Laguna, que ha sido desde niño mi espejo y, junto con mis padres, mi mayor apoyo durante estos 4 años en los que me ha facilitado todo lo que he necesitado para cumplir mis objetivos.

También ha resultado esencial en este proyecto la participación de la Empresa Sieltec Canarias S.L., por medio de su Director Ejecutivo César López Solano, que me ha dado la oportunidad de realizar las prácticas externas profesionales en el Observatorio Meteorológico de Izaña donde prestan sus servicios. En los talleres de electrónica de dicho Observatorio fue donde se llevó a cabo todo el proceso de diseño y fabricación del dispositivo sobre el que versa el presente TFG realizado bajo la supervisión de Javier García Hernández para quien va también mi agradecimiento por su labor encomiable tutelando y supervisando todo el proyecto.

De igual manera, quisiera agradecer el trabajo y en algunos casos la paciencia que han tenido conmigo, algunos de los profesores que me han impartido clases durante el grado como, por ejemplo: Agustín de *Buques*, Juan Carlos y Laroche de *Matemáticas*, Reyes de *Química*, Rojas de Seguridad, Pedro de Electrónica Digital y Diseño de Circuitos, Salvador de *Electrónica*, Antonio y Carlos Efrén de *Sistemas*, Alejandro de Inglés y Felipe de *Radioenlaces* entre otras muchas.

Sin embargo, de este conjunto de profesores quiero destacar especialmente a mis dos tutoras en este Trabajo Fin de Grado, Sara González Pérez que me impartió *Electrotecnia* y Cintia Hernández Sánchez con la que estudié *Salud y Riesgos del Trabajo Marítimo*. Su implicación hacia este TFG ha excepcional en todo momento manteniendo un contacto estrecho y continuo con ambas con innumerables jornadas de reuniones y correcciones en las que la implicación de ambas siempre ha sido absoluta motivo por el cual en el momento que decidí quién o, mejor dicho, quienes dirigirían mi Trabajo Fin de Grado, no me equivoqué en absoluto.

TERMOSTATO DIGITAL DE CONTROL

ABSTRACT	6
RESUMEN	7
1. OBJETIVOS	8
2. INTRODUCCIÓN.....	11
2.1 Termostatos.....	11
2.1.1 Bimetálicos	12
2.1.2 De gas encerrado	12
2.1.3 De parafina.....	12
2.1.4 Electrónicos	12
2.2 Microcontroladores	13
2.2.1 Funcionamiento	14
2.2.2 Aplicaciones	14
2.3 Análisis de circuitos	15
2.3.1 Divisor de Tensión.....	15
2.3.2 Filtros.....	18
2.3.3 Circuito activación de un relé.....	21
2.3.4 Amplificador Operacional No-Inversor	22
3. PROCESO DE FABRICACIÓN	24
3.1 Diseño	24
3.2 Materiales y Herramientas	31
3.3 Componentes	33

3.3.1 Resistencias/ Potenciómetros.....	33
3.3.2 Condensadores	36
3.3.3 Diodos	38
3.3.4 Reguladores de tensión.....	40
3.3.5 Amplificador Operacional No-Inversor	41
3.3.6 Transistor Amplificador	42
3.3.7 Microcontrolador Arduino.....	45
3.3.8 Pantalla LCD	47
3.3.9 Otros componentes	49
3.4 Equipos	50
3.4.1 Fuente de alimentación regulable.....	50
3.4.2 Ordenador	50
3.4.3 Multímetro Digital.....	51
3.5 Programas y aplicaciones informáticas.....	52
3.5.1 Livewire	52
3.5.2 ElectroDroid.....	53
3.5.3 Instalación del Entorno de programación de Arduino.....	54
3.5.4 Ejemplo de Programación Arduino	57
3.5.5 Explicación programa Termostato Digital de Control	61
3.6 Montaje.....	63
4. CONCLUSIONES.....	66
5. CONCLUSIONS	68
6. LISTA DE ACRÓNIMOS.....	70
7. LISTA DE FIGURAS.....	72

8. LISTA DE TABLAS.....	75
9. BIBLIOGRAFÍA.....	76
10. ANEXOS	77
Anexo I: Diseño del Sistema.....	77
Anexo II: Presupuesto del Sistema	78
Anexo III: Programa Arduino.....	79

ABSTRACT

In this final project the design and manufacture of a thermostat device governed by a microcontroller has been carried out and it has a digital display on the liquid crystal display (LCD) of the registered data and system functions. This device has been carried out in collaboration with maintenance personnel of the Izaña Meteorological Observatory.

In this report has been made in the first place, a study of the elements and theoretical concepts necessary to obtain the manufactured prototype. The following is a description of the manufacturing process carried out, based on the design of the prototype, detailing the system design process, and listing and commenting on the materials, components, tools, equipment and computer programs used.

The prototype designed and manufactured in the scope of this final degree project has finally been installed in a team of the Observatory, and is currently in operation.

Finally, the steps made during the assembly of the system of the different circuits and elements that compose it are described in a detailed manner.

RESUMEN

En este trabajo fin de grado se ha llevado a cabo el diseño y la fabricación de un dispositivo termostato gobernado por un microcontrolador y que cuenta con visualización digital en pantalla de cristal líquido (LCD) de los datos registrados y funciones del sistema. Este dispositivo se ha llevado a cabo en colaboración con personal de mantenimiento del Observatorio Meteorológico de Izaña.

En esta memoria se ha realizado en primer lugar, un estudio de los elementos y conceptos teóricos necesarios para la obtención del prototipo fabricado. A continuación, se describe el proceso de fabricación llevado a cabo, partiendo del diseño del prototipo, detallando el proceso de diseño del sistema, y enumerando y comentando los materiales, componentes, herramientas, equipos y programas informáticos usados.

El prototipo diseñado y fabricado en el ámbito de este trabajo fin de grado ha sido finalmente instalado en un equipo del Observatorio, y se encuentra actualmente en funcionamiento.

Finalmente, se describen de formada detallada los pasos realizados durante el montaje del sistema de los distintos circuitos y elementos que lo componen.

1. OBJETIVOS

Este Trabajo Fin de Grado está basado en uno de los proyectos acometidos durante la realización de las prácticas profesionales externas, pertenecientes al Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Radioelectrónica Naval, en la Empresa Sieltec Canarias, responsable del mantenimiento integral del Observatorio Meteorológico de Izaña, que depende directamente de la Agencia Española de Meteorología (AEMET).

En este Observatorio se usan multitud de dispositivos electrónicos de medición y la empresa, además de realizar el mantenimiento diario y reparación de los mismos, también dedica buena parte del tiempo a innovar e investigar para poder fabricar desde cero el mayor número de dispositivos posibles, y aumentar así la autosuficiencia del centro.

En este caso concreto, se necesitaba de un dispositivo portátil de control y regulación de la temperatura para poder integrarlo en diferentes dispositivos ubicados en diferentes localizaciones, para en un plazo medio de tiempo implementarlo definitivamente en algún otro dispositivo que así lo necesitara como finalmente ocurrió.

Este Termostato Digital de Control debe ser capaz trabajar a bajas temperaturas, ya que su aplicación principal será la de registrar la temperatura del líquido refrigerante (glicol) que es utilizado en diversos equipos de medida del Observatorio y por ello se utilizará una sonda que debe ser compatible con este medio líquido utilizado en el proceso de refrigeración. El prototipo debe contar con un sistema de control, en este caso un microcontrolador, que será el encargado de activar los actuadores del sistema, tanto como si dicho valor aumenta, activando los enfriadores, como si disminuye, haciendo lo propio con los calefactores.

Esta acción se lleva a cabo por medio de un circuito que, mediante un transistor NPN, activa un relé cuando la temperatura cambia del valor de consigna. Además, el aparato deberá disponer de una pantalla donde se muestren las mediciones registradas

y donde además se pueda actuar sobre las funciones principales del sistema del dispositivo.

La utilización de una consigna y la adición de una pantalla permiten el uso portátil del dispositivo en numerosos y variados aparatos que necesiten de un líquido refrigerante a una determinada temperatura para cumplir sus funciones. Por tanto, aunque varíe la temperatura de trabajo, bastará con cambiar el valor de la consigna, que en este caso estará establecido su rango de actuación entre los $-70^{\circ}\text{C}/150^{\circ}\text{C}$.

El diseño del sistema deberá cumplir con unos estrictos requisitos de funcionalidad, efectividad, durabilidad y, por supuesto, resultar efectivamente rentable, económicamente hablando; en este sentido, se deberá procurar usar siempre que se pueda materiales y componentes reciclados. Por tanto, la elección del número y tipos de componentes que formarán parte del sistema, resulta esencial en este sentido debiendo usar siempre los estrictamente necesarios y buscando soluciones alternativas más sencillas y económicas, siempre y cuando sea posible. Para la realización del diseño se usarán diferentes herramientas informáticas y programas de simulación de circuitos que facilitarán las labores de diseño del sistema.

Obtenido el diseño final del sistema, tras las oportunas pruebas, se realiza un presupuesto del coste total del sistema, con una relación de todos los componentes que lo forman, indicando sus precios por unidades y que puede consultarse en el anexo I.

El montaje final de elementos en la placa base, realizado de forma artesanal, deberá realizarse de la manera más efectiva posible intentando aprovechar al máximo las horas dedicadas al mismo.

El uso de herramientas adecuadas y en buen estado de funcionamiento resultará esencial en esta parte del proceso donde además de conocimientos se requiere cierta

destreza a la hora de realizar las operaciones como montaje elementos o soldaduras de los mismos.

Este proceso debe ir acompañado en todo momento por las denominadas *pruebas de ensayo y error* donde se comprueba, cada vez que se añade un nuevo circuito al sistema, que el funcionamiento sea perfecto en todo momento. Los equipos de medidas y generadores de señales resultaran esenciales en esta parte del proyecto, ya que con ellos se pueden comparar los resultados y comprobar si son correctos o no.

Llegados a este punto, con el dispositivo totalmente mecanizado y realizadas todas las pruebas oportunas, éste deberá cumplir fielmente las funciones especificadas al principio, lo cual proporcionará finalmente un resultado óptimo de funcionamiento del sistema.

2. INTRODUCCIÓN

El Termostato Digital de Control está constituido por un conjunto de dispositivos con sus distintos circuitos de funcionamiento asociados entre sí y formando el sistema de trabajo que serán descritos en la presente introducción.

Por tanto, se ha comenzado por realizar un estudio de los diferentes tipos de termostatos, de sus principales características y aplicaciones. En segundo lugar, se lleva a cabo un proceso similar con los microcontroladores.

Por último, se ha realizado un estudio detallado de los circuitos que han sido utilizados en el diseño del sistema y que resultan esenciales para su funcionamiento.

2.1 Termostatos

Los termostatos son dispositivos que pueden regular la temperatura de una fuente de calor manteniéndola en un valor determinado por medio de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura (F. Buqué, 2007).

Su versión más simple consiste en una lámina metálica y se clasifican en tres categorías principales:

- Termostatos de ambiente
- Termostatos de evaporadores
- Termostatos para líquidos

Estos dispositivos tienen numerosas aplicaciones en infinidad de aparatos tanto domésticos, como industriales, estando presentes en frigoríficos, calefactores y aparatos de aire acondicionado, resultando, además, fundamentales para el funcionamiento de los motores de combustión de los automóviles ya que permiten

controlar el accionamiento del ventilador del radiador y mantener el agua refrigerante a la temperatura adecuada.

Los principales tipos de termostatos que existen en la actualidad son los siguientes:

2.1.1 Bimetálicos

Se fabrican uniendo dos láminas de metal de diferente coeficiente de dilatación de manera que cuando la temperatura cambia, la lámina cambia de forma automática, actuando sobre unos contactos que cierran un circuito eléctrico.

Funcionan estando normalmente abiertos o normalmente cerrados, cambiando su estado cuando la temperatura alcanza el nivel para el que están preparados. Pueden ser *manuales* al requerir de la accionamiento humano o *automáticos* sin él.

2.1.2 De gas encerrado

Su funcionamiento se basa en la expansión de un gas para activar una válvula pudiendo ser regulado mediante la variación de la presión al modificar el volumen del tubo que alberga el gas.

2.1.3 De parafina

Se usan principalmente en motores de combustión interna donde se usa una *parafina* que se expande con los aumentos de temperatura empujando un disco que permite el paso del líquido. Cuando la temperatura desciende el disco se cierra por acción de un resorte por lo que se impide el paso del líquido.

2.1.4 Electrónicos

Actualmente son los más usados debido a las enormes ventajas que ofrecen con respecto a los mecánicos ya se deterioran menos al no contar con elementos móviles, son fácilmente configurables e integrables en otros sistemas y, quizás la ventaja más importante, se pueden asociar a un microcontrolador y mejorar así considerablemente la gestión del sistema aumentando, por consiguiente, su rendimiento y eficacia.

Como ejemplo, en una casa un termostato se puede complementar con una programación según la hora, el día de la semana, otros eventos o según la eficiencia. *Termostato*. EcuRed: Enciclopedia cubana [consulta: mayo 2019]. Disponible en: https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana

2.2 Microcontroladores

Un microcontrolador es un pequeño sistema digital programable de propósito específico integrado en un chip especializado en el procesado de control. Hay una gran diversidad de microcontroladores para cubrir la amplia gama de aplicaciones y requerimientos de coste, consumo y espacio que pueden soportar. Son, básicamente, circuitos integrados que incluyen un microprocesador, y que están formados por tres bloques funcionales (F. Arrebola Pérez and J.P. Bandera et al, 2008):

- Unidad Central de Procesamiento
- Memoria
- Entradas/Salida

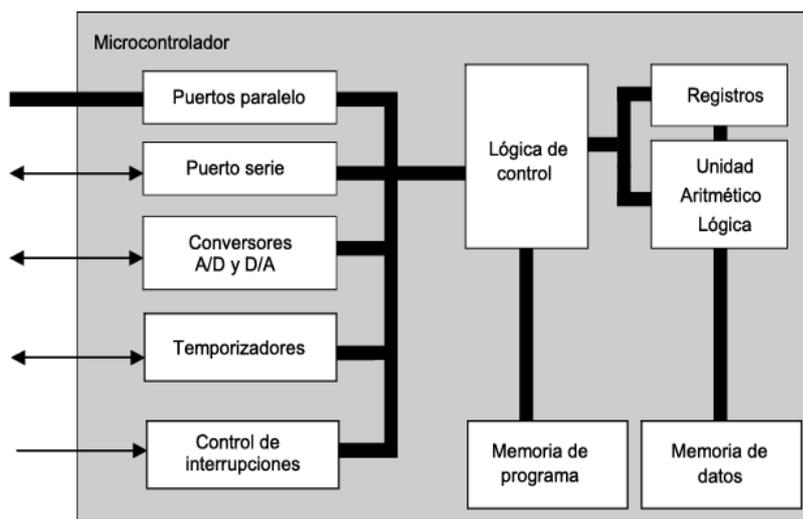


Ilustración 1: Diagrama de bloques del Microcontrolador

Fuente: F. Arrebola Pérez and J.P. Bandera et al, *Teoría y Diseño de Microcontroladores de Freescale*, Madrid: Mc Graw Hill, 2008

2.2.1 Funcionamiento

El microcontrolador trabaja en tiempo real y, por tanto, proporciona una respuesta determinista, por lo que suele evitar los típicos mecanismos predictivos de los microprocesadores (tales como cachés o ejecuciones especulativas) y usar técnicas de cambio de contexto muy rápidas y eficientes que detectan y reaccionan a eventos externos en muy pocos ciclos de reloj. En este sentido, suelen acceder directamente a los recursos hardware del sistema evitando los sistemas operativos; aunque a veces los usan en tiempo real (RTOS, Real Time Operation System) y otras veces pueden ser específicos de la aplicación. Otra característica particular de los microcontroladores es que están capacitados para reducir al mínimo su gasto energético conmutando entre modos de bajo consumo y/o jugando con la frecuencia de trabajo (F. Arrebola Pérez and J.P. Bandera et al, 2008)

2.2.2 Aplicaciones

Se usan fundamentalmente cuando la potencia de cálculo no es importante por lo que tiene las siguientes aplicaciones:

- Robótica: Subsistemas específicos de control.
- Equipamiento informático.
- Sistemas portátiles y autónomos.
- Control centralizado de puertas y ventanas, climatizadores, alarmas, etc.
- Sector doméstico: televisores, lavarropas, microondas, videos, etc.

Los principales tipos son:

- Según el ancho de palabra
- Según los periféricos incluidos
- Según la especialidad concreta: comunicaciones, señales, video, etc.

2.3 Análisis de circuitos

En este Proyecto se han usado una serie de circuitos que combinados entre sí permiten la correcta lectura de la temperatura del medio en el que se encuentre el sensor y en caso de que la temperatura difiera del nivel establecido en la consigna, activar los actuadores del sistema. Esto es posible gracias a la combinación de circuitos analógicos, como filtros y divisores de tensión, con circuitos digitales, como circuitos integrados y microcontroladores, además de sensores, actuadores y demás componentes asociados a ellos.

Estos circuitos serán convenientemente explicados y analizados en este apartado para la mejor comprensión del funcionamiento del sistema. Obviamente, existe una diferencia en casi todos los aspectos, entre la electrónica analógica y la digital, tanto a la hora de montar físicamente el dispositivo como a la hora de explicar los diferentes funcionamientos. Por tanto, cuando se proceda a la descripción de los funcionamientos de los circuitos, se atenderá básicamente al modo operativo que se requiera para el sistema.

2.3.1 Divisor de Tensión

El divisor de tensión es un circuito que, a partir de un nivel de señal de entrada de alimentación, bien de corriente alterna (V_{CA}) como de continua (V_{CC}), obtiene una determinada tensión de salida (V_O), diferente, cuyo valor será el cociente de la resta entre la tensión de alimentación y la tensión de referencia, normalmente considerada de valor cero, dividido por las sumas de las resistencias que componen el divisor, multiplicado por el valor de la resistencia conectada a tierra cuya fórmula se expresa:

$$V = \frac{V_{alimentación} - V_{Ref}}{R + R_{a\ tierra}} \cdot R_{a\ tierra}$$

Este circuito está formado, simplemente, por una señal de entrada de cualquier nivel ya sea V_{CC} o V_{CA} , que atraviesa dos o más resistencias, una de ellas a tierra.

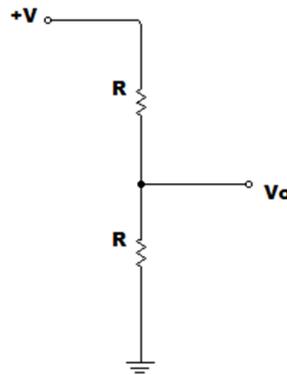


Ilustración 2: Divisor de tensión.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Este tipo de circuitos presenta además la característica de que, si las resistencias que lo conforman tienen el mismo valor, la diferencia de potencial (d_{pp}), será exactamente y en la misma proporción, del mismo valor en todas una y cada una de ellas. De esa manera, si son dos resistencias, en cada una de ellas habrá una d_{pp} de la mitad del valor de la tensión de alimentación, si son tres resistencias, en cada una de ellas habrá una d_{pp} de un tercio del valor de la tensión de alimentación y así sucesivamente.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de simulaciones con el programa *Live Wire* que ilustran a la perfección lo explicado en el párrafo anterior y que permiten variar los niveles de tensión al antojo del usuario dependiendo de los valores de los componentes pasivos del circuito, en este caso, las resistencias.

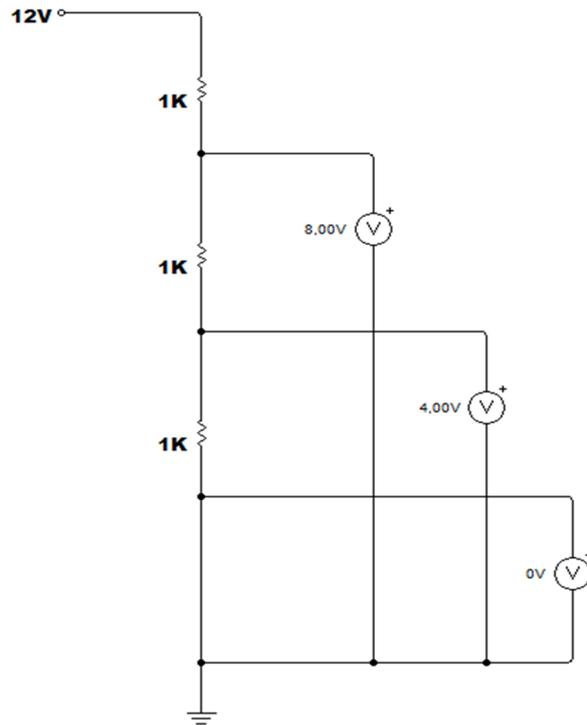


Ilustración 3: Divisor de tensión con tres R de 1K a 12V
Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

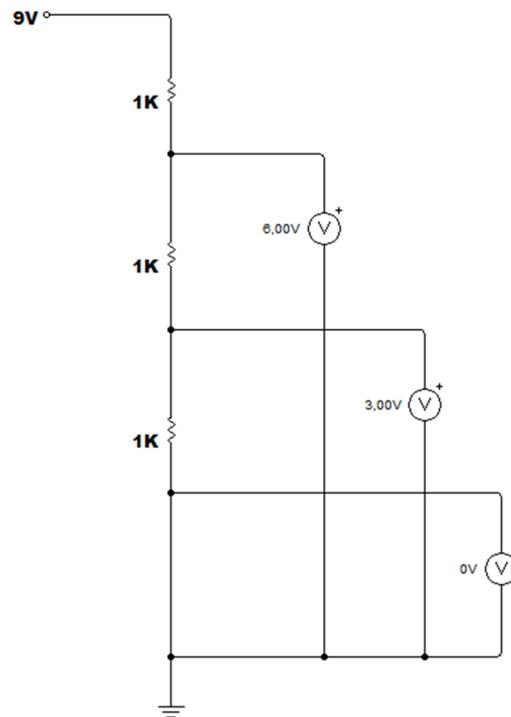


Ilustración 4: Divisor de tensión con tres R de 1K a 9V
Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

2.3.2 Filtros

Denominados *filtros electrónicos*, son elementos que discriminan de la señal que los atraviesa, una determinada frecuencia o un rango de éstas, pudiendo modificar de las mismas tanto la amplitud como su fase.

Situados entre la salida y la carga, este tipo de circuito es capaz de separar las componentes de corriente alterna de las de corriente continua, evitando que las primeras alcancen la carga. Para este fin, están normalmente compuestos por bobinas y condensadores y pueden ser:

- Activos o pasivos.
- Digitales o Analógicos.
- De paso alto, paso bajo, paso banda o elimina banda.
- De tiempo discreto o continuo

Dependiendo del filtrado que el sistema requiera se pueden usar diversas configuraciones de filtros con variadas combinaciones de sus elementos (J. García Trasancos, 2009).

Filtro de entrada a condensador: Consiste en un condensador conectado en paralelo con la resistencia de carga que, al presentar poca impedancia a la componente de alterna, la pondrá en cortocircuito permitiendo la circulación de la componente de continua por la carga.

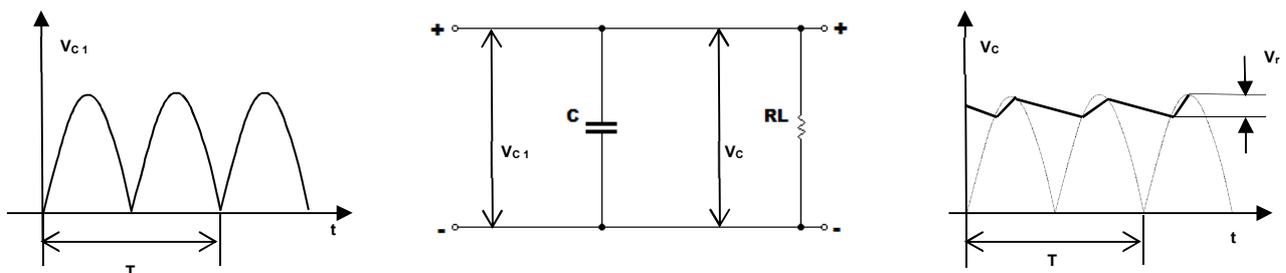


Ilustración 5: Circuito de filtro con condensador en paralelo.

Fuente: (S. Cogollo Borrás, 2016)

Se usa un condensador electrolítico de gran capacidad que viene determinado por la siguiente expresión siendo I_C la corriente continua de salida, f_r la frecuencia de rizado y V_r la tensión de rizado (S. Cogollo Borrás, 2016):

$$C = \frac{I_C}{f_r \cdot V_r}$$

Filtro con inductancia en serie: Formado por una bobina de alto valor de inducción y con poca resistencia conectada en serie con la resistencia de carga.

La bobina presenta una gran impedancia a la componente de la corriente alterna ofreciendo poca a la componente de la corriente continua.

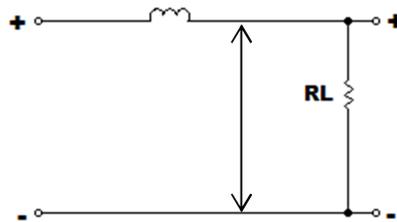


Ilustración 6: Circuito de filtro con inductancia en serie.

Fuente: (S. Cogollo Borrás, 2016)

Filtro RC: Consiste en una resistencia en serie y un condensador en paralelo a la resistencia de carga, donde la resistencia presenta la misma oposición a la componente de continua que a la de alterna mientras que el condensador pone en cortocircuito a la componente de alterna.

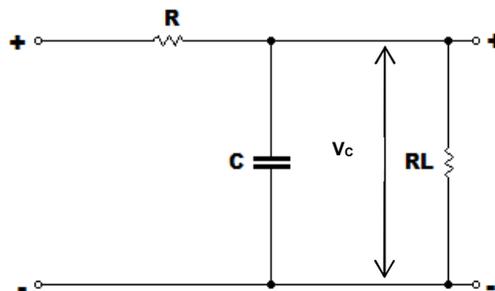


Ilustración 7: Circuito de filtro RC.

Fuente: (S. Cogollo Borrás, 2016)

Filtro LC: Formado por una bobina de alto valor de inducción y con poca resistencia conectada en serie con la resistencia de carga y un condensador en paralelo a la carga, donde la bobina presenta una impedancia elevada al paso de la componente de alterna y el condensador ofrece un paso en cortocircuito, obteniéndose una carga con muy poco rizado. Se produce, por tanto, un mejor filtrado que en el filtro RC, pero es más voluminoso y menos económico.

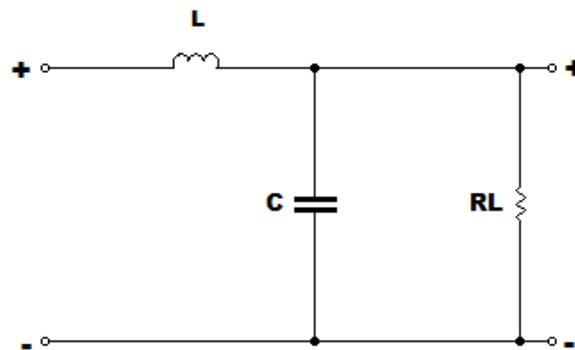


Ilustración 8: Circuito de filtro LC.

Fuente: (S. Cogollo Borrás, 2016)

Filtro en π : Combinación entre un filtro de entrada a condensador y un filtro LC lo que proporciona un mejor filtrado de la componente de alterna obteniéndose a la salida una tensión menos pulsatoria.

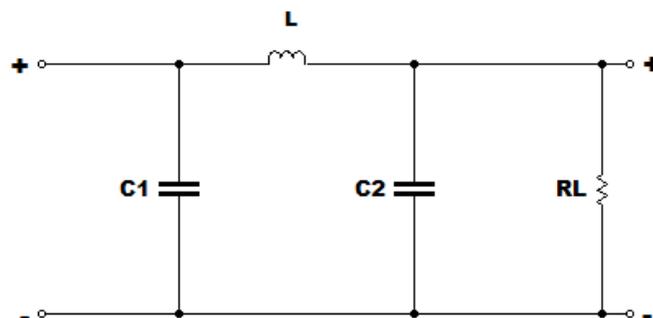


Ilustración 9: Circuito de filtro π .

Fuente: (S. Cogollo Borrás, 2016)

2.3.3 Circuito activación de un relé

Este circuito permite la activación de un relé que controla un actuador del sistema u otro circuito al que esté conectado, de manera que, el relé, a su vez, los activará a éstos cuando sea activado él mismo.

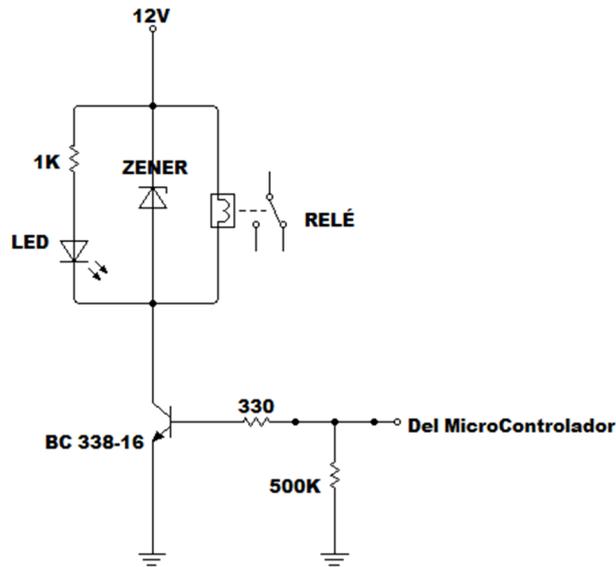


Ilustración 10: Circuito de conmutación de un relé.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Uno de los elementos que se usa para activar el relé suele ser un transistor conectado a la bobina del propio relé por su colector, que son elementos capaces de conducir con apenas 0.8 voltios.

Si el transistor es del tipo NPN, como el usado en este caso, cuando se encuentra al corte, la tensión en su colector es de un valor próximo a la tensión de alimentación, como se da la circunstancia de que la bobina está siempre polarizada también con la tensión de alimentación, no habrá caída de potencial con respecto a la bobina, por tanto, el relé no se activará. Por el contrario, cuando el transistor conduce y posteriormente entra en saturación su tensión de colector tendrá ahora un valor próximo a cero voltios apareciendo, ahora sí, una diferencia de potencial con respecto a la bobina, activándose, por tanto, el relé.

Este comportamiento puede ser comprobado en las siguientes simulaciones realizada en el *Live Wire*, donde se puede comprobar como el LED se enciende cuando el transistor entra en saturación y como se apaga cuando está al corte.

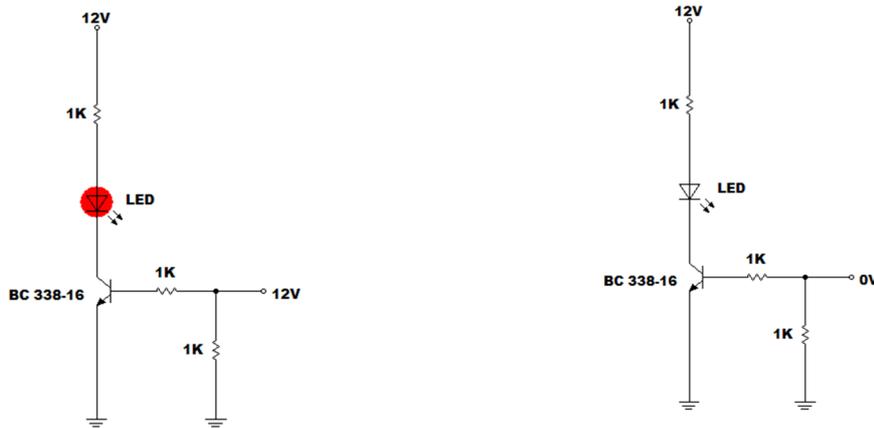


Ilustración 11: Izquierda, transistor en saturación. Derecha, transistor al corte

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire.

2.3.4 Amplificador Operacional No-Inversor

Este operacional proporciona una señal de salida amplificada no invertida, cuyo valor depende del valor de las resistencias, y su funcionamiento se basa en la realimentación negativa serie-paralelo, con una impedancia de entrada Z_i muy alta y una impedancia de salida Z_o muy baja como características principales.

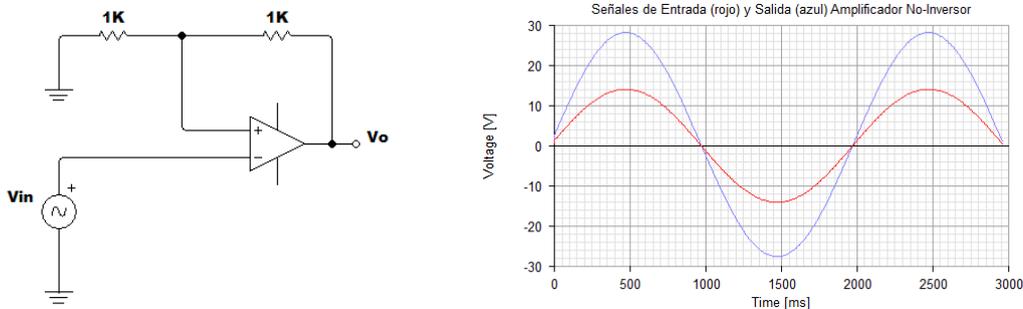


Ilustración 12: Amplificador No-Inversor-Señales entrada/salida

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Tomando el desarrollo matemático desarrollado en la obra de (J.M. Fiore, 2002), en la salida de este circuito, se produce una reducción de la ganancia de tensión A_v cuyo valor viene determinado por la relación entre la tensión de salida V_o y la de entrada V_{in} mediante la expresión:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

Dado que idealmente la tensión de error es cero, podemos decir que las tensiones de entrada y de salida vendrán dadas por las expresiones:

$$V_i = V_{R_i}$$

$$V_o = V_{R_1} + V_{R_f}$$

Sustituyendo en la fórmula inicial la ganancia de tensión vendrán, entonces, definida por la siguiente expresión:

$$A_v = \frac{V_{R_1} + V_{R_f}}{V_{R_i}}$$

De cuyo desarrollo se obtiene:

$$A_v = \frac{R_i \cdot I_{R_i} + R_f \cdot I_{R_f}}{R_i \cdot I_{R_i}}$$

$$\text{Dado que } I_i = 0 \rightarrow I_{R_f} = I_{R_i}$$

Por lo tanto, se obtiene que:

$$A_v = \frac{R_i + R_f}{R_i}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

3. PROCESO DE FABRICACIÓN

3.1 Diseño

El circuito recibe una tensión de alimentación de $7.5 V_{CC}$ suministrados por la fuente de alimentación, y que deberán ser regulados a 5V. La tensión de alimentación deberá, por tanto, pasar por dos *reguladores de tensión* que proporcionarán dos tensiones reguladas: 5VA y 5VB. Además, en la entrada de la alimentación se conectan dos *condensadores* que actúan como filtros. Uno de ellos, de $1\mu F$ de capacidad, bloqueará las frecuencias altas (paso bajo) y el otro de $100\mu F$ que bloquea las frecuencias bajas (paso alto). De esta manera se consigue una mejor estabilización de la señal de entrada.

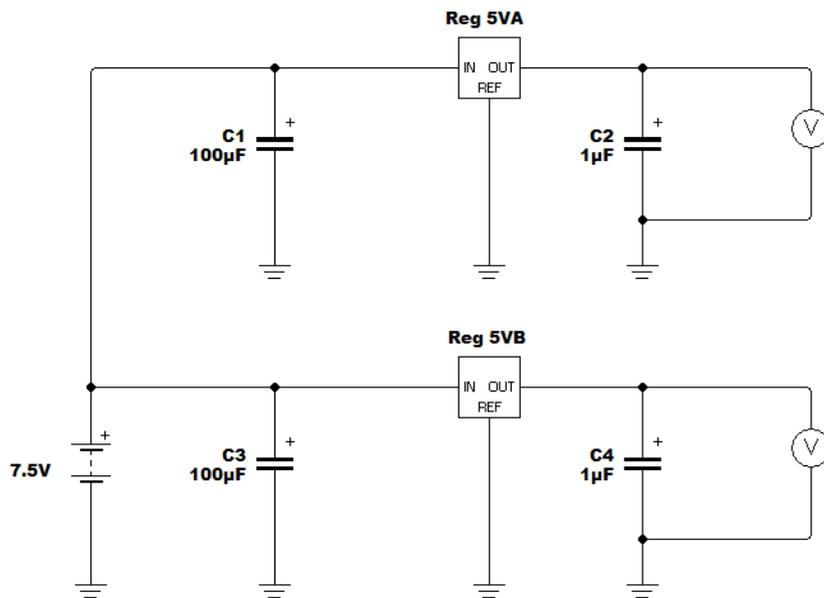


Ilustración 13: Circuitos reguladores de tensión.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire.

La tensión regulada 5VA se aplica a un *divisor de tensión* formado por dos *resistencias* de igual valor y una *termoresistencia* PT100, que actúa como sensor de temperatura, debiéndose obtener, a la salida del divisor, una *tensión* del orden de los 200 mV cuando la PT presenta una impedancia de 100Ω es decir a $0^{\circ}C$.

Se calculan los valores del divisor de tensión formado por $R_1/R_2/R_{PT100\Omega}$ para conseguir, a partir de una señal de entrada de 5V, un valor de salida de aproximadamente 200 mV, teniendo en cuenta que a 0°C la PT100 presenta un valor 100Ω. Sustituimos los valores conocidos en la siguiente expresión para determinar el valor de la señal de salida de un divisor de tensión:

$$V = \frac{V_{alimentación} - V_{ref}}{R_1 + R_2 + R_{PT100}} \cdot R_{PT100}$$

$$200 \cdot 10^{-3}V = \frac{5 - 0}{R_1 + R_2 + 100} \cdot 100 \rightarrow (200 \cdot 10^{-3}) \cdot (R_1 + R_2 + 100) = 5 \cdot 100 = 500$$

$$R_1 + R_2 + 100 = \frac{500}{200 \cdot 10^{-3}} = 2500 \rightarrow R_1 + R_2 = 2500 - 100 \rightarrow R_1 = 2400 - R_2$$

$$R_1 = 1200 \Omega \quad / \quad R_2 = 1200 \Omega$$

Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula original y realizando simulación en el programa *Livewire*.

$$V = \frac{V_{cc} - V_{ref}}{R_1 + R_2 + R_{PT100}} \cdot R_{PT100} = \frac{5 - 0}{1200 + 1200 + 100} \cdot 100 = 200 \text{ mV}$$

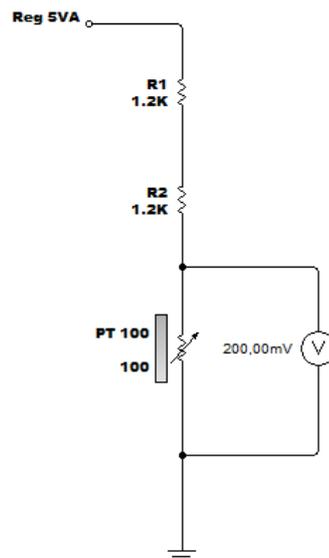


Ilustración 14: Circuito divisor de tensión.

Fuente: Elaboración propia con programa *Livewire*.

La salida del divisor se conecta a la *pata inversora* de un *amplificador operacional*, para que éste lo amplifique aproximadamente 10 veces, obteniéndose una tensión de salida del orden de los 2V, que será usada como tensión de referencia para ser comparada posteriormente con el valor de la consigna establecida y determinar el accionamiento o no de los actuadores del sistema.

Se calculan los valores de R_2/R_3 para conseguir que sea amplificada 10 veces por el *operacional* para conseguir inyectar aproximadamente 2V en la entrada A0 (Analógica) del *Arduino*.

Los cálculos de las *resistencias* del amplificador no inversor de ganancia 10 los realizamos con la aplicación para móviles *ElectroDroid* de la cual mostramos las siguientes capturas de pantalla:

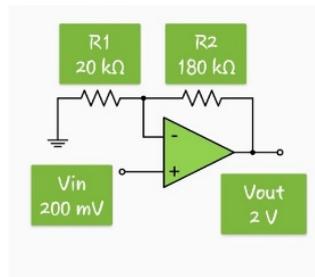


Ilustración 15: Cálculos del amplificador operacional No-Inversor.

Fuente: Elaboración propia con aplicación ElectroDroid

No se dispone de esos valores exactos de *resistencia* por lo que se sustituyen por otras dos de 50/500K.

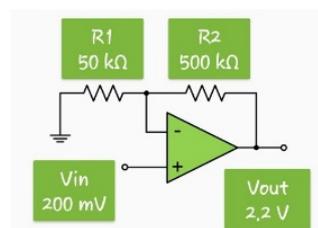


Ilustración 16: Nuevos cálculos del amplificador operacional No-Inversor.

Fuente: Elaboración propia con aplicación ElectroDroid.

Se usa como *amplificador* un Circuito Integrado (CI) concretamente, el LM2904n cuya salida pasa por un filtro RC antes de ser inyectada en la entrada correspondiente del microcontrolador Arduino.

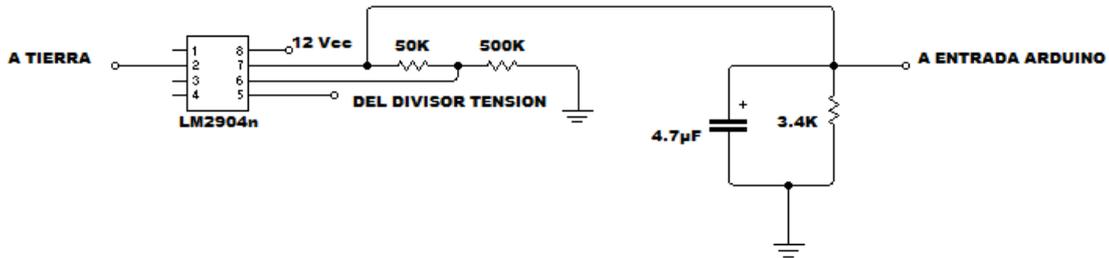


Ilustración 17: Conexiones Amplificador Operacional LM2904n.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire.

La salida del amplificador se conecta a un *Microcontrolador Arduino*, al que previamente se le cargado el programa de funcionamiento del sensor de temperatura. Además de las correspondientes entradas y salidas analógicas y digitales, mostradas en la siguiente figura, se le conecta al pin analógico A1 un potenciómetro (Control Consigna) que controlará el valor de la consigna y al pin digital D7 un interruptor (Selector Consigna) que permitirá activar o no la operación de cambio del valor de la consigna.

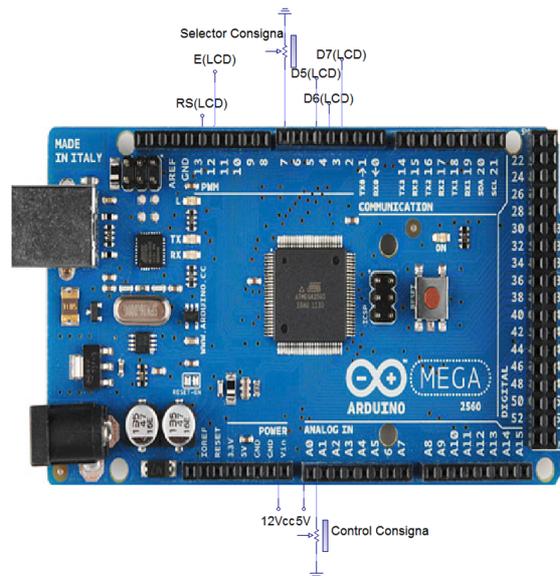


Ilustración 18: Conexiones Arduino MEGA 2560.

Fuente: Elaboración propia con programa Live Wire.

ARDUINO			
Entradas		Salidas	
A0	5V (A)	D12	RS (LCD)
A1	Control Consigna	D11	E (LCD)
V _{in}	V _{cc}	D0-D4	A TIERRA
D7	Selector Consigna	D4	D5 (LCD)
D8	Base Transistor	D3	D6 (LCD)
		D2	D7 (LCD)

Tabla 1: Conexiones Arduino MEGA 2560

Fuente: Elaboración propia

Al microcontrolador Arduino se le asocia una *Pantalla LCD*, que mostrará el valor de temperatura registrada por la *termoresistencia PT100* y donde también se podrá visualizar el valor de la consigna aplicado por el Control de Consigna. Además, se le conecta en su entrada Vo un potenciómetro para regular el brillo de la pantalla.

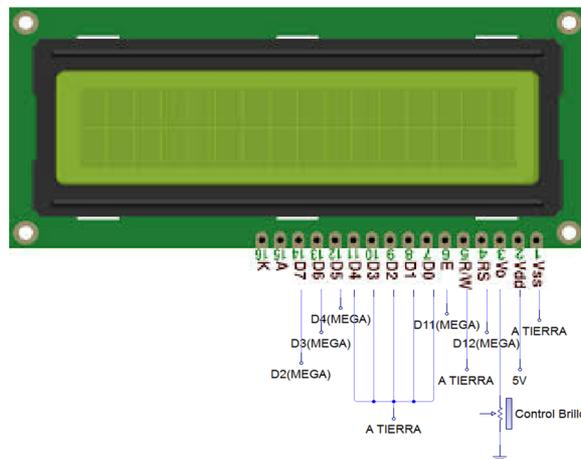


Ilustración 19: Conexiones Pantalla LCD 16x32.

Fuente: Elaboración propia con programa Live Wire.

PANTALLA LCD	
Conexiones	
V _{SS}	TIERRA
V _{DD}	5V (B)
V ₀	Control Brillo
RS	D12 (Arduino)
RW	TIERRA
E	D12 (Arduino)
D0-D4	TIERRA
D5	D4
D6	D3
D7	D2

Tabla 2: Conexiones Pantalla LCD.

Fuente: Elaboración Propia

La tensión regulada 5VB se aplica a un circuito capaz de activar un relé de control que controlará el funcionamiento de los actuadores cuando la temperatura registrada sea distinta del valor de la *consigna*. También se le añaden en su entrada de alimentación los condensadores electrolíticos que actúan como filtros de paso bajo y paso alto. El elemento activador del *relé* es un *transistor tipo NPN* y se elige el transistor BC 338-16 ya que puede soportar una *corriente de colector* de 800 mA más que suficiente para el sistema.

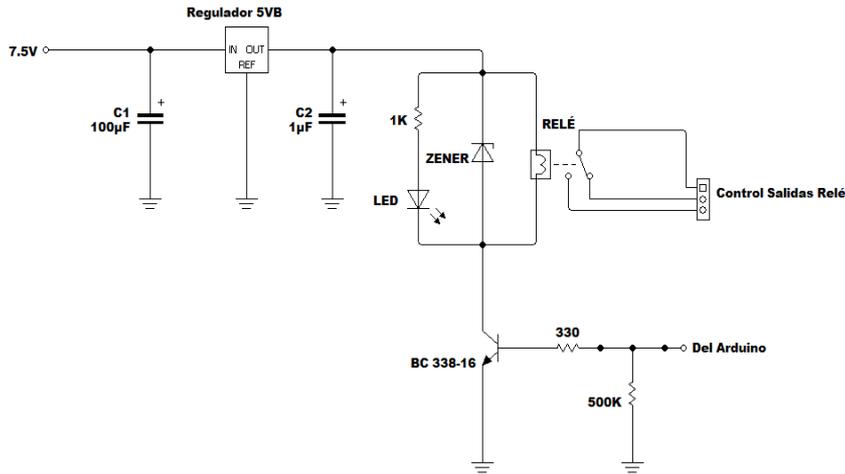


Ilustración 20: Activación del relé controlador de actuadores del sistema.

Fuente: Elaboración propia con programa Live Wire

Finalmente, se le añade al circuito un fusible (F_1) para protegerla a la fuente de alimentación y al resto del circuito de posibles excesos de corriente que se puedan generar, por lo que el diseño final del circuito quedará como se muestra a continuación y en el Anexo I de este documento de manera más detallada.

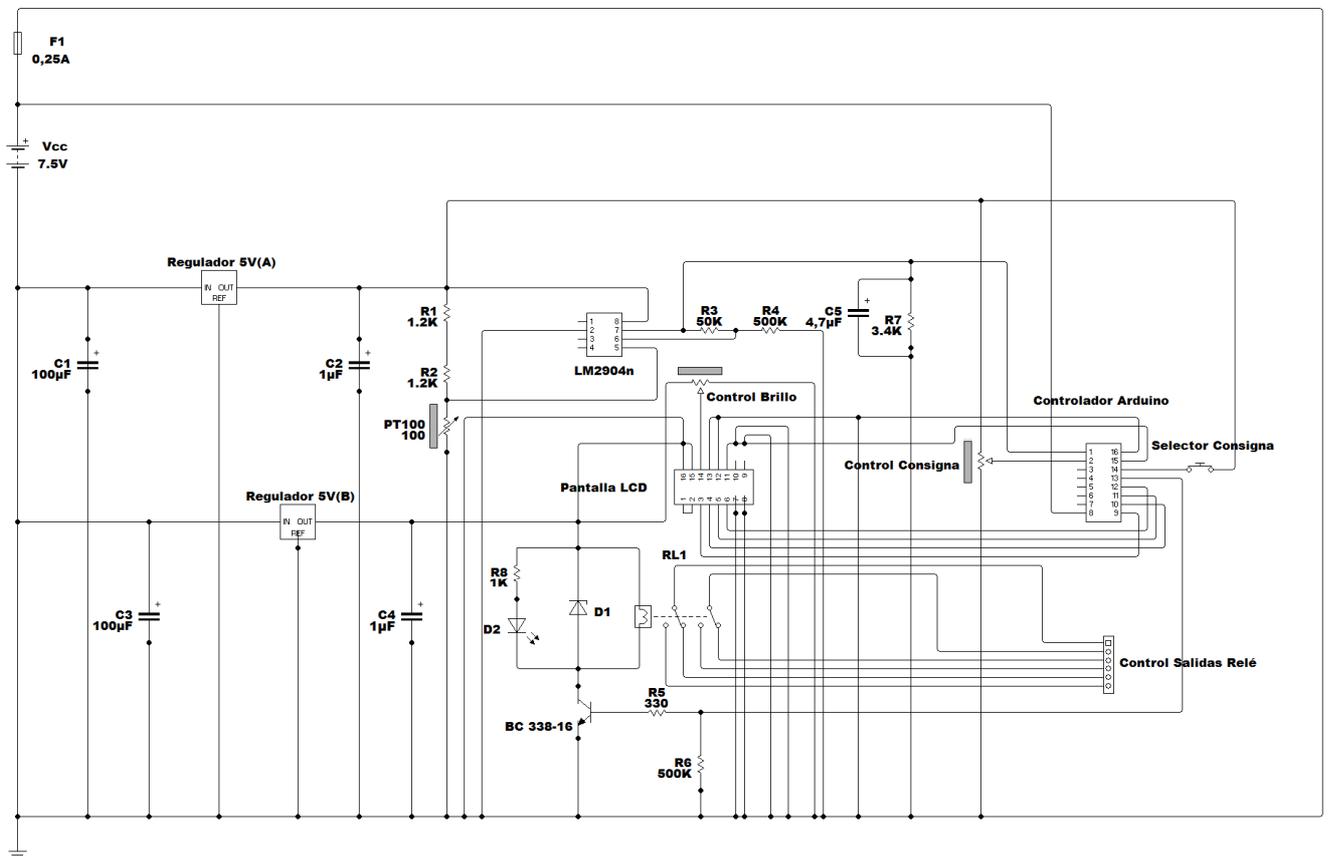


Ilustración 21: Diseño final del Termostato Digital de Control.

Fuente: Elaboración propia con programa Live Wire.

3.2 Materiales y Herramientas

Durante el proceso de diseño, se montan los circuitos en una **placa protoboard**, donde se usan **cables de conexión** para las uniones entre los distintos elementos, los cuales son preparados con **alicates varios** y **herramientas pelacables**.

Una vez montado el circuito se comprueba su funcionamiento, por un lado, suministrando al circuito un nivel determinado de tensión de alimentación con la ayuda de una **fuentes de alimentación regulable**; y por otro, con un **multímetro digital** determinando los distintos niveles de tensión y corriente en distintos puntos del circuito.

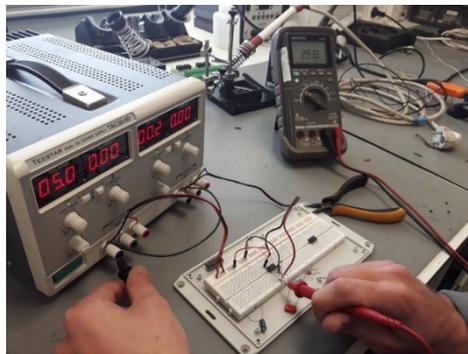


Ilustración 22: Pruebas del diseño del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Se usan también **destornilladores varios** y **otras herramientas** para distintas operaciones de ajuste, fijación y demás.

HERRAMIENTAS
Placa Protoboard
Estación Soldadora
Bomba desoldadora
Alicates Corte/Punta
Destornilladores
Pelacables

Tabla 3: Herramientas usadas.

Fuente Elaboración propia

Durante el proceso de fabricación y para las labores de soldadura y desoldadura de los elementos a la placa y los cables de conexiones entre ellos, se usa una **Estación Soldadora** y una **Bomba Desoldadora** usando como material soldador el **estaño**.



Ilustración 23: Estación soldadora.

Fuente: <http://yihua-gz.com/>



Ilustración 24: Bomba desoldadora.

Fuente: <https://leeselectronic.com/en/product/10103.html>

También durante este proceso se usan el *multímetro* y la *fuentes regulable* como equipos de medidas y suministro de señales de entrada.

MATERIALES
Estaño
Cables de conexión
Terminales de conexión

Tabla 4: Materiales usados.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Componentes

3.3.1 Resistencias/ Potenciómetros

Son componentes pasivos que, cuando son atravesados por una tensión de un valor determinado, producen una *diferencia de potencial* (d_{pp}) entre sus terminales, lo que da lugar a la aparición de una *corriente eléctrica* (I) de un valor determinado que puede ser usada para polarizar distintos los elementos del sistema. También realizan funciones de protección, puesto que evitan la puesta en corto del circuito al presentar cierta oposición al paso de la corriente.



Ilustración 25: Símbolo resistencia.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Las resistencias presentan distintos **comportamientos** dependiendo del tipo de corriente que las atraviese, por lo tanto:

- **En corriente continua (cc)**, transforma la energía eléctrica en calor debido al efecto Joule, es decir, presentan un comportamiento ideal.
- **En corriente alterna (ca)**, su comportamiento dependerá de la frecuencia, siendo éste en bajas frecuencias muy parecido al presentado en cc mientras que, en altas frecuencias, aumentará a medida que la frecuencia aumente.



Ilustración 26: Resistencias de película de carbón.

Fuente: <https://crelectrons.com/product/resistencias-de-carbon-14-watt-5-tolerancia-2/>

En el diseño del circuito principalmente se han empleado las del tipo de película de carbón, como las mostradas en la figura anterior, que son las más empleadas y tienen gran estabilidad térmica, en distintos valores, dependiendo del uso de cada una, para polarizar y proteger los distintos circuitos que forman el sistema.

Como **sensor de temperatura** se ha usado una *resistencia variable PT 100* cuya característica principal es que a 0°C presenta una resistencia de 100 ohmios, y se comporta ante los cambios de temperatura de manera que cuando sube la temperatura aumenta su valor óhmico y cuando baja la temperatura disminuye éste como puede observar en su curva característica de funcionamiento mostrada a continuación, donde se representa su rango de trabajo, desde los -200°C hasta los 600°C

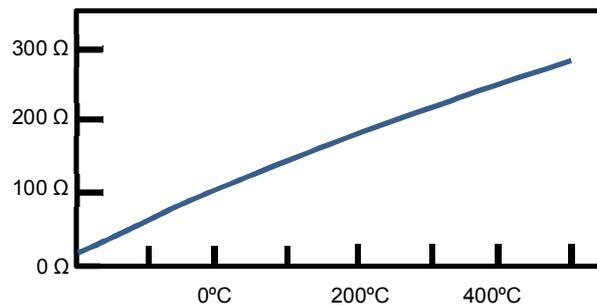


Ilustración 27: Curva característica de funcionamiento PT100.

Fuente: <https://pt100.online/>



Ilustración 28: Resistencia PT100.

Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-temperatura-con-resistencia-de-platino/3971832/>

Se escoge este tipo de *sensor* y no por ejemplo uno del tipo *NTC*, que son más baratos y sencillos al no necesitar de electrónica, ya que lo que se necesita es controlar la *temperatura* de un líquido refrigerante, por tanto, el sensor debe estar en contacto con el mismo. Esta circunstancia la admite la *PT100*, pero no la *NTC*.

Por esta misma razón tampoco se escoge una solución comercial ya montada de fábrica, ya que las que hay en el mercado a precio asequible no permiten el contacto del *sensor* con el *líquido refrigerante* a base de *glicol*.

Los **potenciómetros** son unas resistencias especiales que están formadas por una parte fija con la resistencia y una móvil en contacto con la misma que, al desplazarse, hace variar la resistencia entre las tomas variando su resistencia interna en función de un mayor o menor giro manual de su parte móvil.

Se han usado dos potenciómetros en el diseño del circuito uno para el cambio del valor de la consigna del programa y denominado *Control Consigna* y otro para el control del brillo de la pantalla LCD denominado *Control Brillo*.

RESISTENCIAS		
Función	Valor	Denominación
<i>Protección/Polarización</i>	1.2 K Ω	R ₁ / R ₂
	50 K Ω	R ₃
	500 K Ω	R ₄ /R ₆
	330 Ω	R ₅
	3.4 K Ω	R ₇
<i>Sensor Temperatura</i>	Variable	PT100
<i>Potenciómetro</i>	Variable	Control Brillo
	Variable	Control Consigna

Tabla 5: Relación de resistencias, sensores y potenciómetros usados.

Fuente: Elaboración propia:

3.3.2 Condensadores

Componentes pasivos capaces de almacenar en forma eléctrica la energía que recibe durante el proceso de carga y liberándose dicha energía durante el proceso de descarga. La *carga* se produce cuando aumenta la diferencia de potencial entre sus terminales, mientras que la *descarga* se produce cuando esta disminuye.

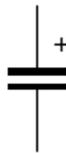


Ilustración 29: Símbolo condensador.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

La *capacidad* o *capacitancia* de un condensador es la cantidad de energía que es capaz de almacenar y se mide en *faradios* (F) aunque se usan normalmente valores de *microfaradios* (μF) y/o *picofaradios* (pF).

En *cc*, se comportan como *circuito abierto* en régimen permanente ya que al conectarse y desconectarse un circuito suceden ciertos fenómenos transitorios que inciden sobre la *dpp* en bornes.

En *ca*, provocan un adelanto de 90° de la corriente con respecto a la tensión y ofrecen una resistencia a su paso, denominada *reactancia capacitativa* X_C .

$$X_C = \frac{1}{\omega \text{ (rad/s)} \cdot C \text{ (F)}} = (\Omega)$$

Existen cantidad de tipos de condensadores dependiendo del material con el que estén fabricados: cerámicos, de mylar (polyester), de aire, de papel, de tántalo, electrolíticos y de poliestireno, entre otros.

Para el diseño del sistema se han usado condensadores electrolíticos ya que resultan ideales para los filtros que se usan en el sistema y pueden tener mucha capacitancia, permitiendo la construcción de filtros de muy baja frecuencia.

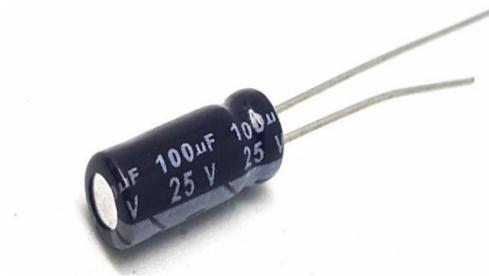


Ilustración 30: Condensador electrolítico 100µF.

Fuente: <https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/condensador-electrolitico-100uf/>

CONDENSADORES	
Denominación	Valor
C_1/C_3	100 µF
C_2/C_4	1 µF
C_5	4.7 µF

Tabla 6: Relación de condensadores usados.

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diodos

Componentes semiconductores formados por dos terminales, *ánodo* y *cátodo*, que permite y controla el paso la corriente eléctrica en solo un sentido. Por tanto, cuando el ánodo se conecta al positivo de la fuente (a favor de la corriente) el diodo estará en *polarización directa*, mientras que cuando sea el cátodo el conectado al positivo estará en *polarización inversa*.

Su curva característica I/V presenta dos regiones diferenciadas en las que no conduce por debajo de cierta dpp (normalmente 0.7V) y sí lo hace por encima de ese mismo valor, tal y como se muestra en la figura 31. Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua (L.Cuesta and A. Gil Padilla et al, 1991).

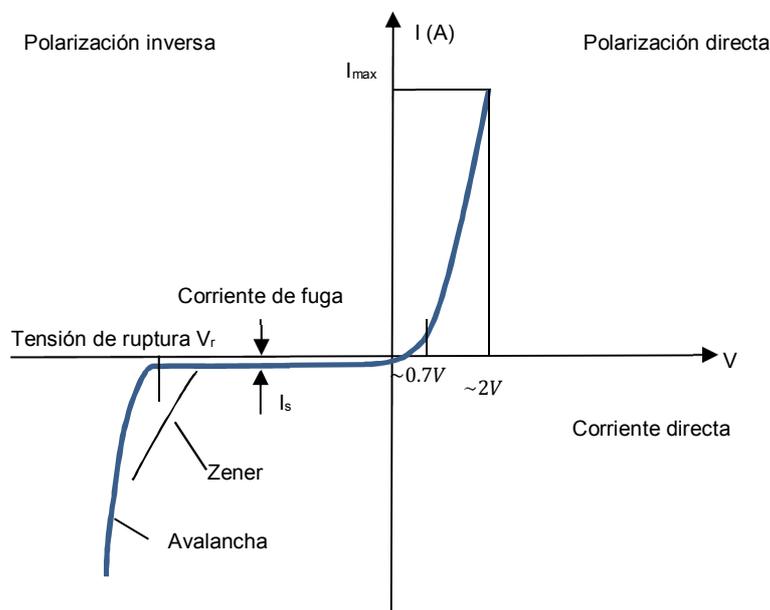


Ilustración 31: Curva Corriente/Voltaje característica del diodo.

Fuente: (P. Alcalde San Miguel, 2009)

Para el circuito de activación del relé se ha usado un **diodo Zener** que es capaz de conducir tanto en directa, actuando como rectificador, como en inversa, actuando como estabilizador de tensión ya que mantiene constante el voltaje entre sus terminales. Por lo tanto, un diodo zener ideal mantiene un voltaje predeterminado fijo a su salida, sin importar las variaciones de voltaje en la fuente de alimentación y/o las variaciones de corriente en la carga.

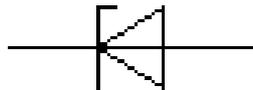


Ilustración 32: Símbolo diodo Zener.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

En el mismo circuito de activación del relé, para mostrar visualmente si el relé se activa o no, se ha usado un **diodo LED** (*Light-Emitting Diode*) que cuando conduce libera energía en forma de fotones por lo cual se convierte en emisor de luz.

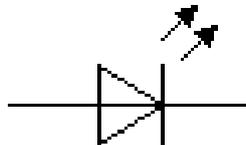


Ilustración 33: Símbolo diodo LED.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

DIODOS	
Denominación	Tipo
D_1	Zener
D_2	LED

Tabla 7: Relación de diodos usados.

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Reguladores de tensión

Son dispositivos electrónicos que mantienen un nivel de tensión determinado independientemente del valor del voltaje suministrado, absorbiendo y derivando a tierra el exceso de tensión eléctrica.

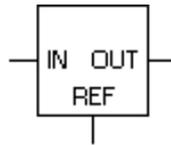


Ilustración 34: Símbolo Regulador de Tensión.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Pueden ser conmutados, mecánicos o integrados, siendo éstos últimos los más usados en las fuentes de alimentación por su alta capacidad de reducción del rizado. Se presentan como elementos de tres terminales: entrada, salida y masa y suelen incorporar limitación de corriente interna, apagado térmico y protección de la zona segura llegando a entregar salidas superiores a 1A, por lo que resultan muy fiables y casi indestructibles.

Para el diseño se ha elegido el modelo de regulador de voltaje a 5V LM 7805 ya que permite unas tensiones continuas de alimentación de hasta 35V y puede trabajar en el rango de temperaturas entre -60/150°C. Además, las corrientes de salida y la potencia de disipación están internamente limitadas.

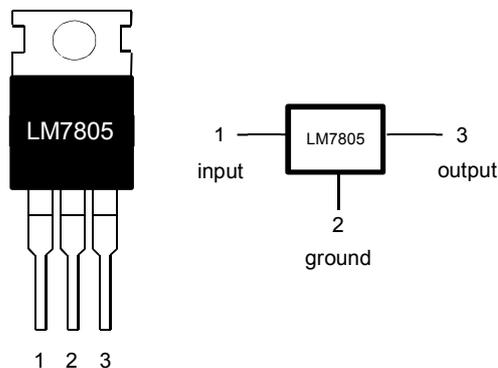


Ilustración 35: Patillaje del Regulador de Tensión 5V LM7805.

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Amplificador Operacional No-Inversor

Como se estudió en el apartado 1.3.5 de Análisis de Circuitos de este documento, este tipo de amplificador proporciona como señal de salida (V_o) la señal de entrada (V_{in}) amplificada y en la misma fase (J.M. Fiore, 2002).

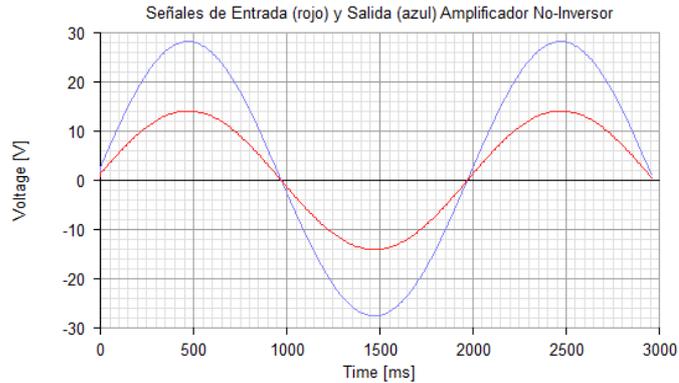


Ilustración 36: Grafica señales entrada/salida Operacional No-Inversor.

Fuente: Elaboración propia con programa Livewire

Para el diseño del sistema se ha elegido el amplificador operacional LM 2904n que puede trabajar con de entradas con niveles de hasta 26 V de tensión y corrientes de 50 mA, con una potencia de disipación de hasta 830 mW. Además, este dispositivo permite un rango de temperatura de trabajo entre $-65/150^{\circ}\text{C}$.

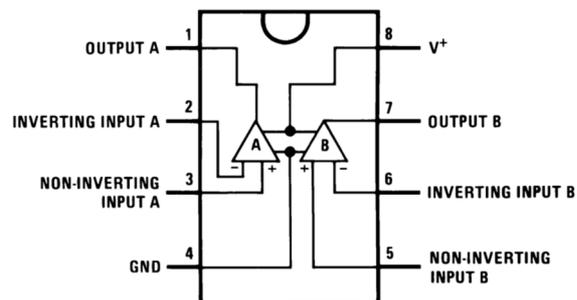


Ilustración 37: Patillaje de conexión LM2904n.

Fuente: https://www.ecured.cu/Circuito_integrado_LM358

3.3.6 Transistor Amplificador

Dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada. Cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. Básicamente es la unión de dos semiconductores y están considerados como elementos activos en el diseño de circuitos.

El transistor consta de tres partes dopadas artificialmente que forman dos uniones bipolares: el Emisor (E) que emite portadores, el Colector (C) que los recibe o recolecta y la tercera, la Base (B), que está intercalada entre las dos primeras, modula el paso de dichos portadores.

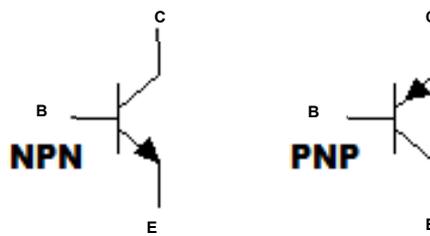


Ilustración 38: Simbología transistores NPN/PNP.

Fuente: Elaboración propia con Livewire

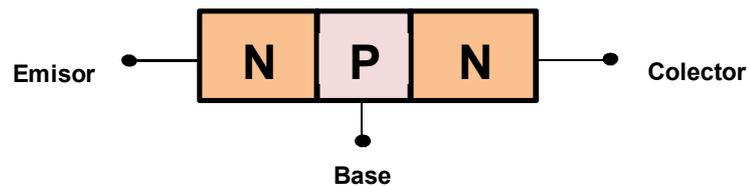
Los transistores pueden ser usados para amplificar la pequeña corriente de salida de un circuito integrado (CI) lógico de tal forma que pueda manejar una bombilla, un relé u otro dispositivo de mucha corriente.

También pueden ser usados como un interruptor (ya sea a la máxima corriente, o encendido ON, o con ninguna corriente, o apagado OFF) y como amplificador (siempre conduciendo corriente). La cantidad amplificada de corriente es llamada ganancia de corriente, β o hFE.

Unión NPN

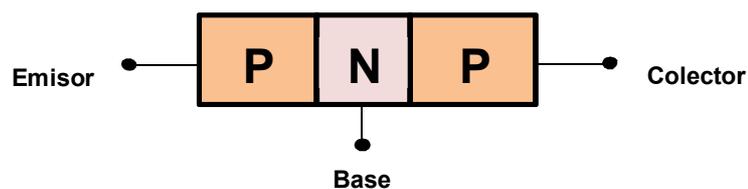
Transistores bipolares, en los cuales las letras "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor. La mayoría de los transistores bipolares usados hoy en día son NPN, debido a que la movilidad del electrón es mayor que la movilidad de los "huecos" en los semiconductores, permitiendo mayores corrientes y velocidades de operación. Una pequeña corriente ingresando a la base en configuración emisor-común es amplificada en la salida del colector

La flecha en el símbolo del transistor NPN está en la terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo



Unión PNP

Los transistores PNP son comúnmente operados con el colector a masa y el emisor conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación a través de una carga eléctrica externa. Una pequeña corriente circulando desde la base permite que una corriente mucho mayor circule desde el emisor hacia el colector. La flecha en el transistor PNP está en el terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.



Se ha usado el modelo BC 338-16 para el diseño del sistema que el del tipo NPN por lo cual necesita de una tensión más positiva para aumentar la conducción y entrar en saturación y que presenta las siguientes características eléctricas:

BC338-16	
Potencia disipación	625 mW
Tensión Base-Colector (V_{BC})	30 V
Tensión Colector-Emisor (V_{CE})	25 V
Tensión Base-Emisor (V_{BE})	5 V
Corriente de Colector (I_c)	800 mA
Rango de temperatura de funcionamiento	-55/150°C

Tabla 8: Características eléctricas Transistor BC338-16.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 39: Transistor NPN BC338-16.

Fuente: <https://www.digikey.com/product-detail/en/taiwan-semiconductor-corporation/BC338-16-A1G/BC338-16A1G-ND/7375155>

3.3.7 Microcontrolador Arduino

Los microcontroladores son CI capaces de ser programados desde un ordenador y seguir la secuencia programada que ha sido cargada en su memoria. En el caso de los Arduino presentan además la importante ventaja de que es una plataforma de fuente y hardware abierto lo que permite el libre intercambio de programas entre usuarios de la plataforma.

Se ha usado el modelo Arduino MEGA 2560 que puede ser alimentado tanto por USB como por una fuente de alimentación externa, que puede ser tanto un transformador como una batería.



Ilustración 40: Arduino MEGA 2560.

Fuente: Elaboración propia.

Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso). Además, dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos series), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset.

Emplea un microcontrolador Atmega8U2 programado para actuar como convertidor USB a serie y que, debido a su gran poder, es utilizada para grandes proyectos, entre los más importantes se encuentran los de domótica e impresoras 3D.

El Arduino MEGA2560 es compatible con la mayoría de los shield o tarjetas de aplicación/ampliación, disponibles para las tarjetas Arduino UNO original.

ARDUINO MEGA 2560	
Microprocesador	ATmega2560
Tensión Alimentación (recomendada)	7-12 V
Tensión Regulada-Estabilizada	5 V
Corriente Máxima Entrada	40 mA
Salida de alimentación	3.3 V/ 50 mA
Memoria Programa	256 Kb
Memoria SRAM	8 Kb
Memoria EEPROM	Datos variables y no volátiles
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla 9: Características principales Arduino MEGA 2560.

Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento interno de un microcontrolador se puede explicar con un diagrama de bloques o esquema lógico, cuyos tres bloques principales son:

- CPU (Central Process Unit), es el cerebro central del microprocesador y actúa bajo control del programa almacenado en la memoria.
- Memoria (RAM/ROM)
- Entradas/Salidas

Los bloques se conectan entre sí mediante grupos de líneas eléctricas denominadas buses o pistas. Los buses pueden ser de direcciones (si transportan direcciones de memoria o entrada y salida), de datos (si transportan datos o instrucciones) o de control (si transportan señales de control diversas).

3.3.8 Pantalla LCD

Fabricadas en cristal líquido, este tipo de pantalla está formada por un número determinado de píxeles dispuestos frente a un reflector o una fuente de luz y para funcionar, solo necesita pequeñas cantidades de energía eléctrica.

El cristal líquido es un material que, al igual que un líquido, fluye y se adapta a la forma del recipiente, pero cuyas moléculas, que suelen ser alargadas o en forma de disco, guardan una cierta ordenación entre sí de forma similar a lo que ocurre en los cristales sólidos.

Una lámpara posterior seguida de un difusor para uniformizar la iluminación genera la luz que será enviada hacia fuera atravesando las diferentes capas de la pantalla.

Esta luz pasa por un primer polarizador (horizontal), luego atraviesa el cristal (que tiene microsurcos horizontales para ordenar las moléculas de CL) y los electrodos transparentes de ITO de cada pixel.

Luego viene la capa de cristal líquido y a continuación el otro cristal (con microsurcos verticales) y el filtro de color, y finalmente el segundo polarizador (vertical).

Los módulos LCD se encuentran en diferentes presentaciones: 2x16 (2 líneas de 16 caracteres), 2x20, 4x20, 4x40, etc.

En documento PDF "Pantalla Electrónicas y Proyectores de Video_4826" [consulta abril 2019]. Disponible en: https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=ZkALXZvwJbGAjLsPsfqE4Aw&q=pantallas+LCD+PDF&oq=pantallas+LCD+PDF&gs_l=psy-ab.3..0j0i22i30i3.76868.87090..87736...0.0..0.136.1681.12j5.....0.....1..gws-wiz.....0i71j35i39j0i67j0i131j0i20i263j0i22i10i30.yuflHxkr3ks

Se ha escogido para el diseño del sistema la versión 2x16 que incluye un bus de datos de 8 bits, un pin de habilitación (E), un pin de selección que indica si lo que se está enviando por el bus es un dato o una instrucción (RS) y un pin que indica si se va a leer o escribir en el módulo (R/W).

PANTALLA LCD 16X32		
PIN	Símbolo	Nombre y Función
1	V _{SS}	GND
2	V _{DD}	Alimentación +5 V
3	V ₀	Ajuste Contraste
4	RS#	Selección Dato/Control
5	RW#	Lectura/Escritura en LCD
6	E	Habilitación
7	D ₀	D ₀ bit menos significativo
8	D ₁	D ₁
9	D ₂	D ₂
10	D ₃	D ₃
11	D ₄	D ₄
12	D ₅	D ₅
13	D ₆	D ₆
14	D ₇	D ₀ bit más significativo
15	LED+	Ánodo de LED backlight
16	LED-	Cátodo de LED backlight

Tabla 10: Pines de conexión Pantalla LCD 16x32.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 41: Pantalla LCD 16x32.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.9 Otros componentes

Fuente de alimentación

Se ha usado como fuente de alimentación del circuito un adaptador de corriente alterna a corriente MAW WOEI, que proporciona una salida de 7.5 V/750 mA a partir de una señal de entrada de 230 V con un valor de frecuencia de 50 Hz y una corriente de 65 mA

Fusible de protección

Para proteger al sistema de sobretensiones en la entrada debido a las componentes de alterna residuales que pueden aparecer se ha usado un fusible de 0.25A/250V más que suficiente para las necesidades del sistema.

Interruptor

La principal finalidad de este conmutador es la de permitir actuar en el valor de la consigna cambiando éste a voluntad del usuario. Esta función se realiza con un interruptor de palanca metálico un polo.



Ilustración 42: Fusible, Fuente de alimentación de 7.5 V_{cc} e Interruptor de un polo.

Fuente: Elaboración propia

3.4 Equipos

3.4.1 Fuente de alimentación regulable

Durante el proceso de prueba de circuitos y a fin de recrear tensiones y corrientes de entrada de diferentes valores se ha usado la fuente de alimentación Tecstar TAC30-3D que es dual (ya que puede proporcionar dos señales de entrada) y regulable, lo que permite imitar las diferentes condiciones de funcionamiento del sistema y comprobar así su buen funcionamiento.

De esta manera, este modelo es capaz de proporcionar señales de entrada de hasta 30 voltios y 3 amperios con una regulación de entrada y de carga de 8 mV.

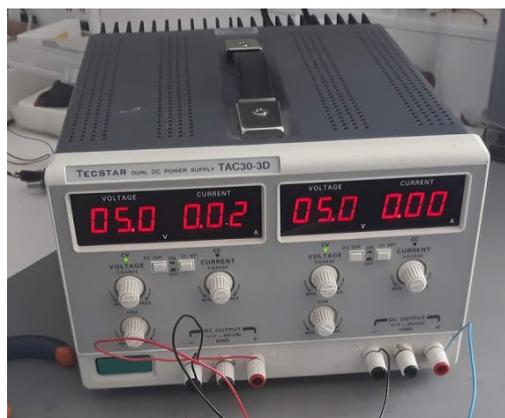


Ilustración 43: Fuente Alimentación Regulable Tecstar TAC30-3D.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Ordenador

El programa de funcionamiento del Arduino debe ser cargado previamente en su memoria para lo que se usa un ordenador que, una vez conectado al microcontrolador con el cable correspondiente, carga el correspondiente programa y una vez compilado éste ya quedará almacenado en la memoria del Arduino y no será necesaria la conexión al ordenador. Se ha usado el modelo HP 250 G5 de Hewlett-Packard.

3.4.3 Multímetro Digital

Equipo indispensable en todo el proceso tanto en el diseño como en el montaje ya que permite chequear los distintos niveles de señales con las que trabaja el sistema y de esa manera comprobar el perfecto funcionamiento del sistema y/o detectar fallos y corregirlos en los puntos exactos donde se producen dichos fallos.



Ilustración 44: Multímetro Digital Kenwood DL-97.

Fuente: <https://www.used-line.com/list-test-and-measurement/miscellaneous/kenwood-tmi-texio-dl-97>

EQUIPOS	
Fuente Alimentación Regulable	Tecstar TAC30-3D
Ordenador Portátil	Hewlett-Packard HP 250 G5
Multímetro Digital	Kenwood DL-97

Tabla 11: Equipos usados.

Fuente: Elaboración propia

3.5 Programas y aplicaciones informáticas

3.5.1 Livewire

Durante el proceso de diseño y también para el estudio de los circuitos usados se ha empleado el programa Livewire para simular circuitos electrónicos virtuales asistidos por ordenador. Desarrollado por New Wave, se basa en los principios de funcionamiento de los circuitos electrónicos basados en leyes fundamentales como la ley de ohm y las leyes de Kirchoff.

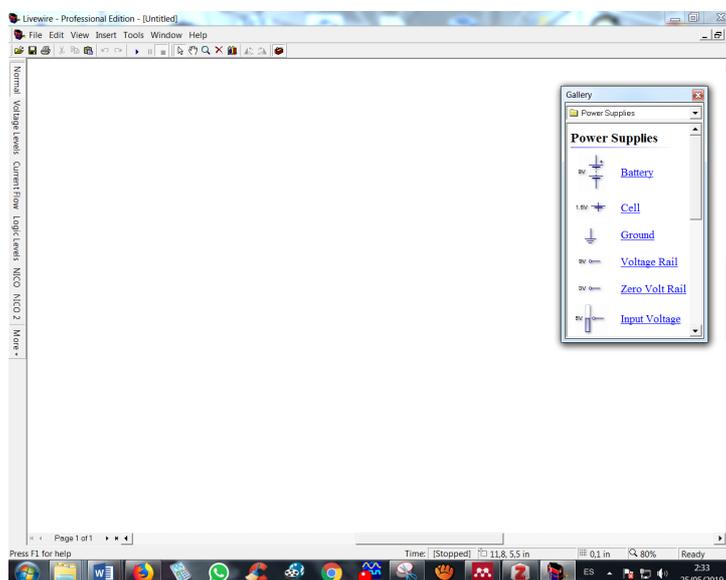


Ilustración 45: Pantalla principal del programa Livewire

Fuente: Elaboración propia

El uso de este tipo de programas, da la ventaja de visualizar lo qué ocurre con el funcionamiento del circuito cuando se realiza alguna modificación y así poder modificar y mejorar el diseño electrónico del mismo lo cual resulta de una enorme utilidad.

Este programa es, además, de uso libre y bastante fácil de utilizar contando, eso sí, con unos mínimos conocimientos de electrónica. Se puede descargar en:

<https://www.new-wave-concepts.com/ed/livewire.html>

3.5.2 ElectroDroid

Se trata de una aplicación que funciona como un catálogo de herramientas electrónicas, calculadoras y documentación técnica, enfocada a quienes tienen interés por la electricidad y la electrónica.

En ella se pueden realizar toda clase de cálculos electrónicos además de consultar una gran cantidad de conocimientos en todos los campos relativos a electrónica y electricidad.



Ilustración 46: Pantalla principal ElectroDroid

Fuente: Elaboración propia

En este caso, esta aplicación se ha usado para realizar los cálculos de los valores de las resistencias del amplificador operacional no inversor durante el proceso de diseño.

3.5.3 Instalación del Entorno de programación de Arduino

La simplicidad de uso y el bajo coste de los Arduino hacen que éstos sean muy atractivos para realizar proyectos tanto para profesionales como para aficionados.

Esto unido a la existencia de una gran comunidad global que usa el sistema supone una gran ventaja, al contar con una plataforma donde compartir programas e ideas entre los distintos usuarios alrededor de todo el mundo, permitiendo así, la implementación práctica de proyectos para manejar a voluntad el sistema. Esta plataforma cuenta con un *Entorno de Desarrollo Integrado*, conocido por sus siglas en inglés *IDE* (Integrated Development Environment), donde los usuarios introducen y compilan los distintos programas de funcionamiento requeridos, antes de cargarlos en la memoria del microcontrolador por medio de conexión USB.

El sistema Arduino es, además, de fácil programación y no necesita de demasiados conocimientos previos, lo que hace a todo el mundo, accesible a los distintos programas que el resto de los usuarios publica en la plataforma y permite, también, que cualquiera pueda compartir proyectos con el resto, en un intercambio de información de ida y vuelta.

Para descargar el IDE de Arduino, por tanto, se debe acceder a su página web desde el enlace: www.arduino.cc, y clicar en “SOFTWARE>DOWNLOADS”

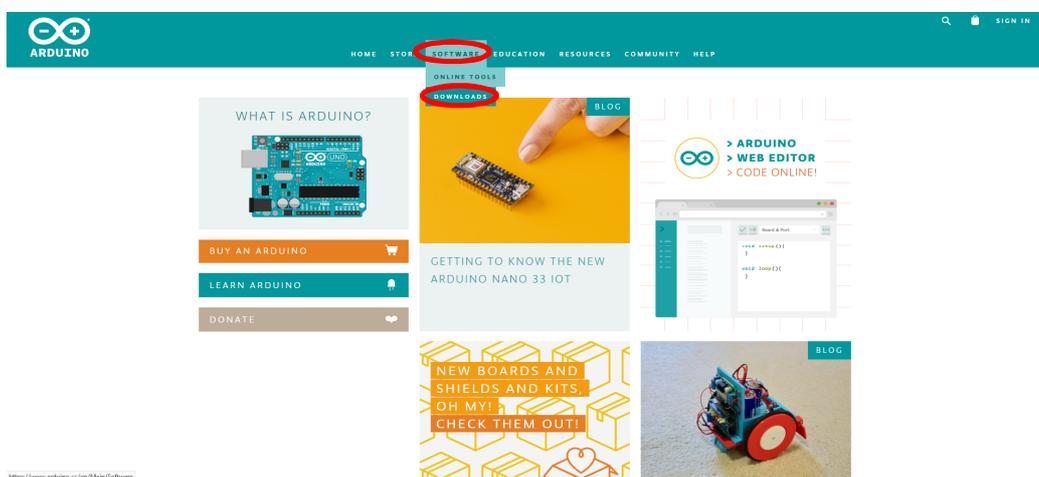
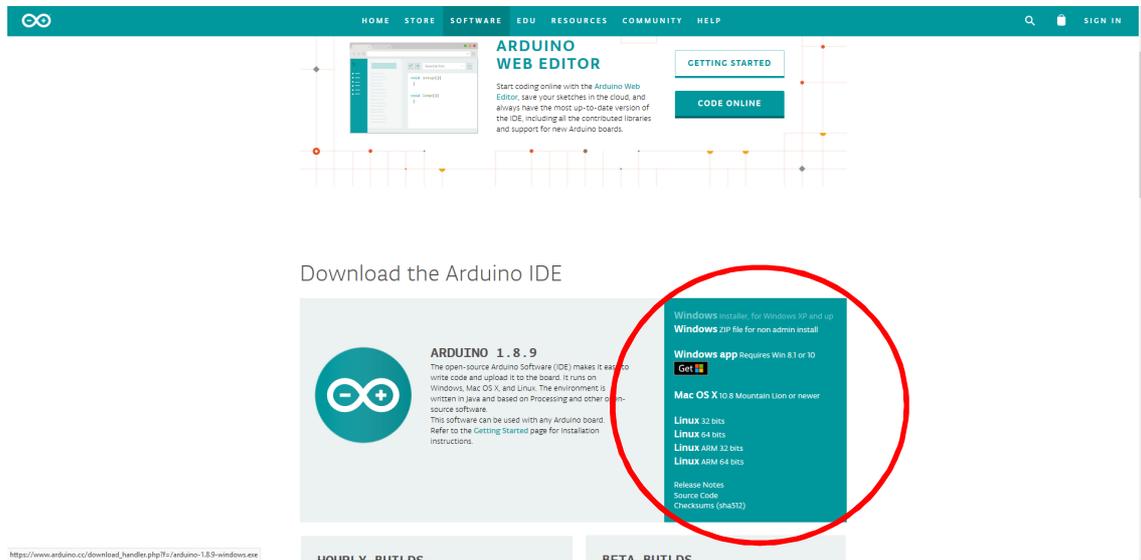


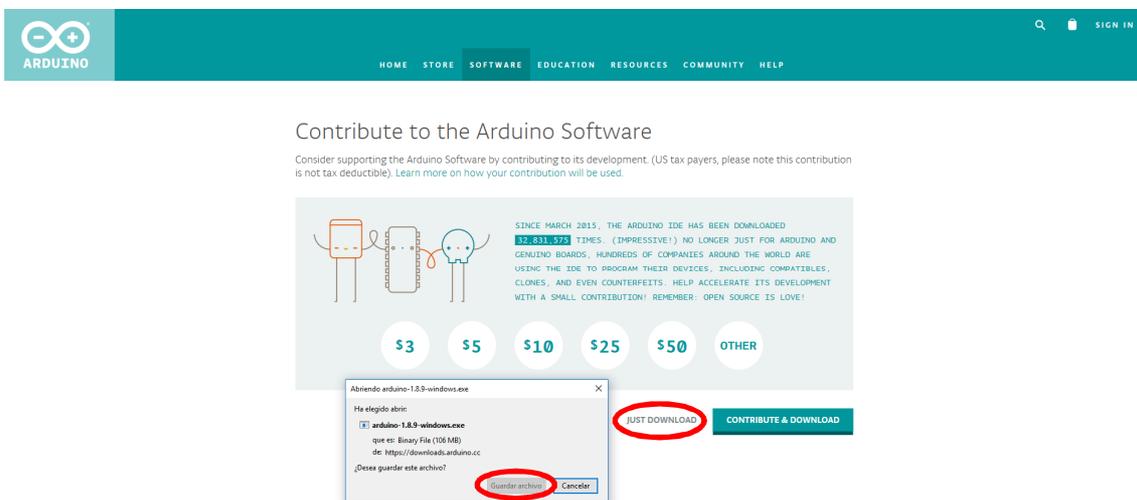
Ilustración 47: Página principal de Arduino.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente pantalla se selecciona el Sistema Operativo con el que trabaja el ordenador donde se vaya a instalar:



A continuación, clicamos en “JUST DOWNLOAD” y en el cuadro de dialogo que aparece marcamos en “Guardar Archivo”:



El archivo ejecutable se guarda en la carpeta de descargas del ordenador desde donde se podrá abrir y completar el proceso de descarga del IDE siguiendo los pasos indicados en las siguientes capturas de pantalla.

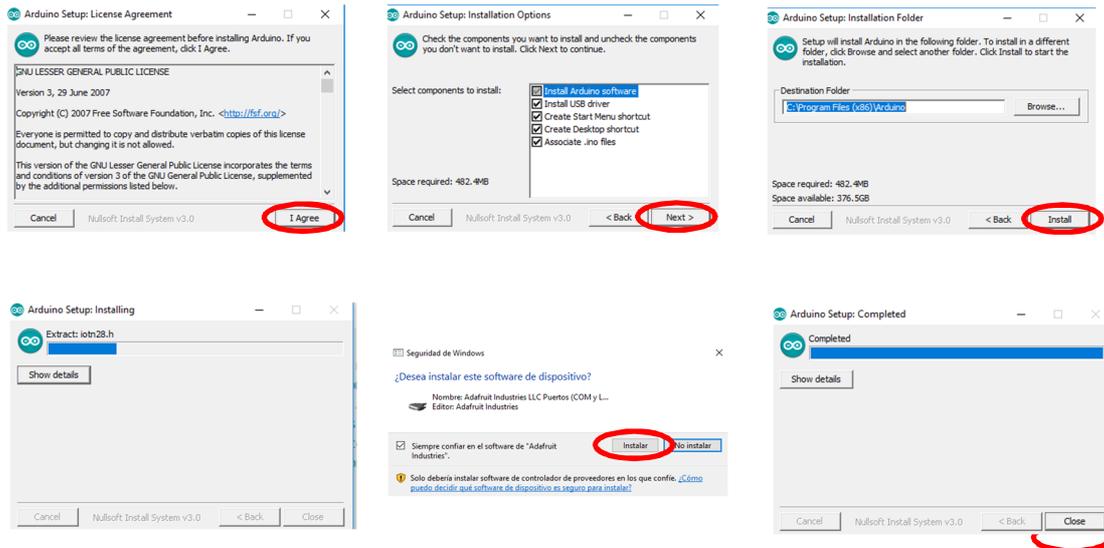


Ilustración 48: Pasos a seguir para la instalación del IDE Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

Después de seguir los pasos indicados y una vez finalizada la descarga ya se tendrá disponible en el ordenador el Entorno de Programación de Arduino, donde se podrán cargar y compilar los diferentes programas disponibles.

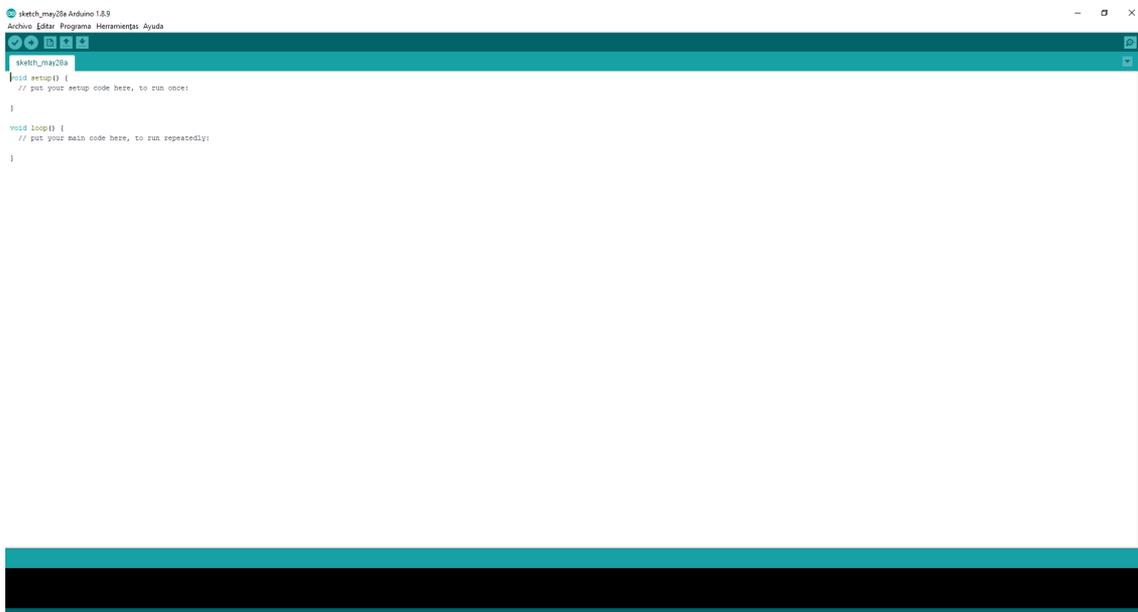


Ilustración 49: IDE Arduino.

Fuente: Elaboración propia

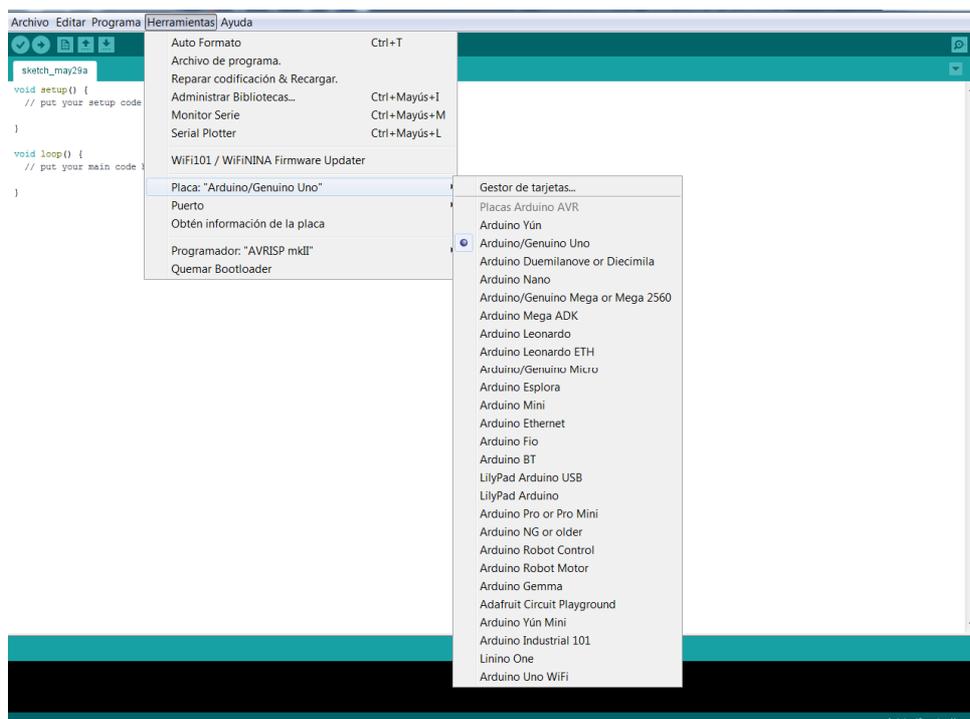
3.5.4 Ejemplo de Programación Arduino

Para cargar el programa en el Arduino se debe introducir éste en el IDE previamente; se explicará este proceso usando un sencillo ejemplo de encender y apagar un LED (integrado en el Arduino) para el que solo se necesitará el propio Arduino y un cable USB, además de un ordenador.

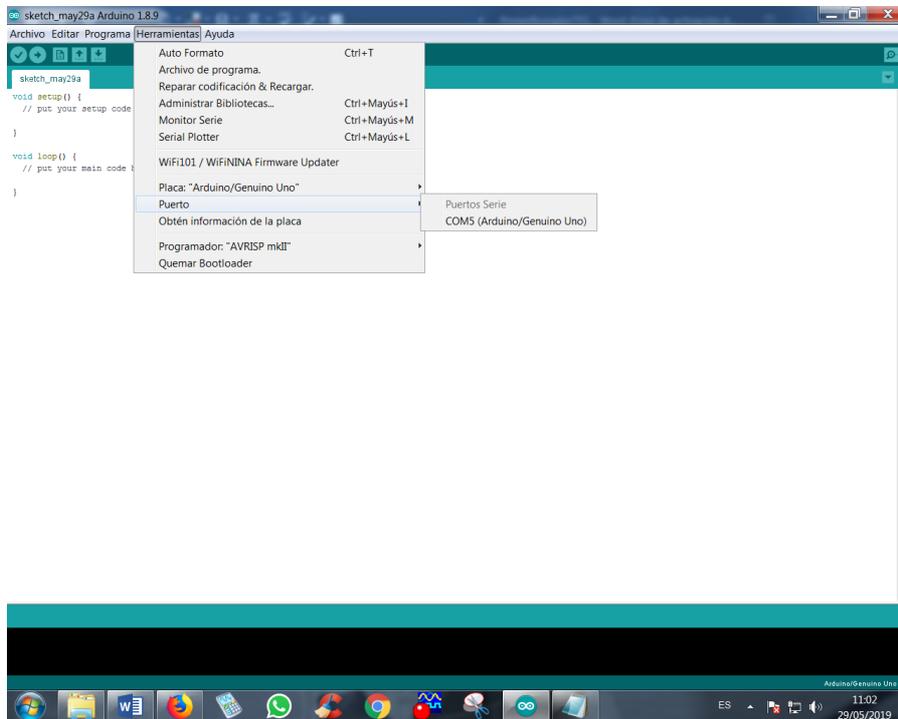
Una vez conectado al PC se deberá encender un LED Verde en el Arduino identificado como “ON” y que sirve como comprobación de comunicación entre PC y Arduino tal y como se muestra en la siguiente captura de imagen:



En la siguiente captura se muestra como se deberá comprobar que el PC ha detectado el Arduino, siguiendo en el IDE la ruta: “Herramientas” > “Placa”:

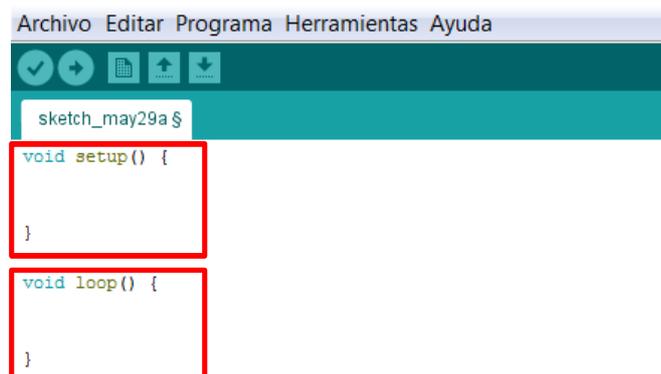


De igual manera, en el submenú “Puerto” deberá estar seleccionado el puerto de conexión de la placa, normalmente “COM4” o “COM5”, tal como se ven en la captura:



A modo de explicación de los conceptos básicos para introducir programas en el IDE para, posteriormente, cargarlos en microprocesador del Arduino, se toma como ejemplo un sencillo programa para conseguir encender y apagar el LED asociado al pin 13 del Arduino en intervalos de 1 segundo.

La ventana principal del editor del IDE muestra por defecto una estructura típica de un programa de Arduino, que consta de dos funciones principales: “*setup*” y “*loop*” diferenciadas por recuadros rojos en la siguiente captura:



La función “*setup*” se ejecuta una sola vez al principio del programa y es el espacio de éste usado para declarar las variables. Esta función la usaremos para determinar sobre que pin/pines actuaremos y determinar si éstos serán de entrada o salida.

Por lo tanto, en este caso, se deberá determinar que actuaremos sobre el pin 13, que es al que está conectado internamente el LED que se pretende encender, y para que se encienda se debe determinar este pin como salida introduciendo siguiente comando exactamente como se muestra a continuación y, respetando los espacios y sin olvidar el punto y coma final que indica precisamente el final del comando:

```
pinMode(13, OUTPUT);
```

Por otro lado, con la función “*loop*” el código se ejecutará de forma permanente e indefinida, por lo cual albergará la mayor parte del código. Procediendo de la misma forma a la hora de escribir los comandos se determina, en primer lugar, que se debe encender el LED cuando el pin 13, declarado como salida en el *setup*, reciba un valor alto, un 1 lógico (5V), debiéndose en este caso escribir:

```
digitalWrite(13, HIGH);
```

Para que el LED se encienda y se apague en intervalos de un segundo se debe introducir una demora de tiempo mediante la función “*delay*” teniendo en cuenta que los valores de tiempo deben estar expresados en milisegundos por lo cual se escribe:

```
delay(1000);
```

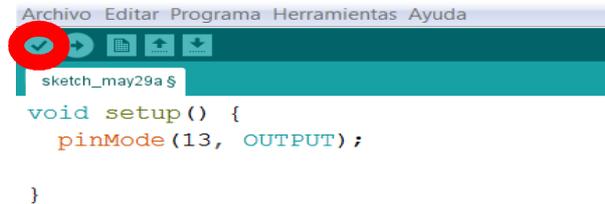
En este momento el LED se enciende durante un segundo, para que transcurrido ese tiempo se apague, se deberá poner la salida (pin13) a nivel bajo escribiendo:

```
digitalWrite(13, LOW);
```

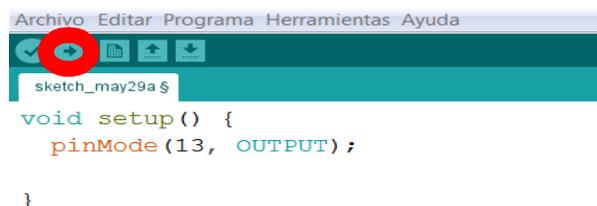
También en este caso se deberá introducir la demora escribiendo de nuevo:

```
delay(1000);
```

Una vez introducido el código en el IDE se debe verificar el programa clicando en el icono situado en la parte superior izquierda del entorno cuya imagen se muestra en la siguiente captura:



Este proceso no carga el programa en la memoria del Arduino, sino que lo compila, es decir, comprueba que no existan errores y que funciona perfectamente. Una vez compilado el programa sin errores se carga en la memoria clicando en el icono mostrado en la siguiente captura de pantalla:



Y en esta se muestra el código completo:



En este punto ya estaría cargado el código en la memoria del microcontrolador y mientras el Arduino reciba alimentación el LED debe encenderse y apagarse en intervalos de un segundo según el programa introducido.



Ilustración 50: Secuencia de encendido LED

Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Explicación programa Termostato Digital de Control

Para explicar el funcionamiento del programa Arduino se hará uso de un diagrama de control con etapas y transiciones que es conocido como Grafcet, realizado según la web: <https://www.automatas.org/redes/grafcet.htm>.

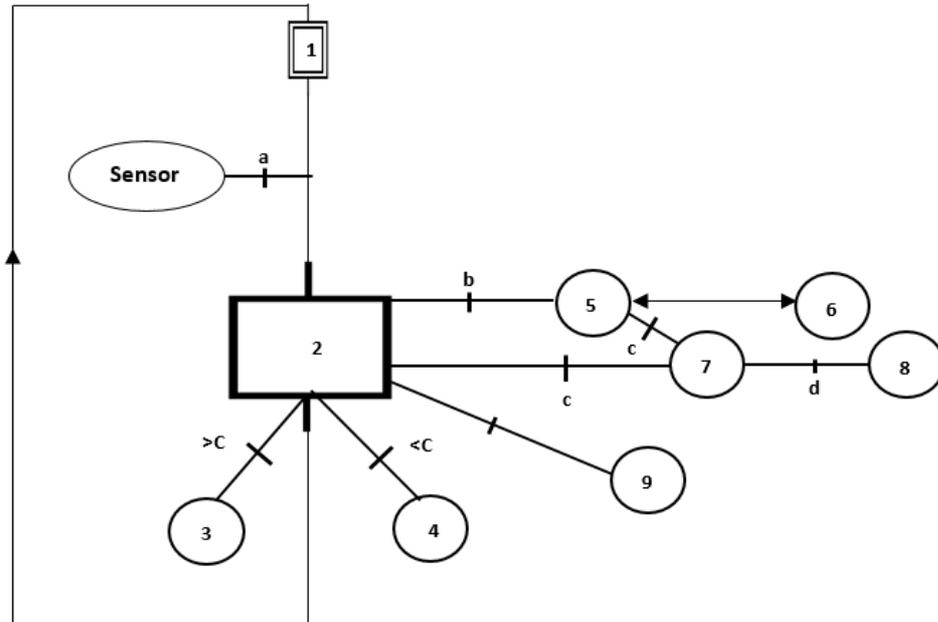


Ilustración 51: Grafcet de funcionamiento del Termostato Digital de Control.

Fuente: Elaboración propia.

El estado de *Inicio* (1) comienza al encender el dispositivo, pero en cuanto recibe una señal de los sensores (a), entra en el estado *Lectura* (2) que es la etapa en la que se registra la señal de entrada recibida, y se procesa de la siguiente manera:

Si el valor de la temperatura medida es superior al valor de la consigna establecida (>C), el sistema deberá activar los enfriadores (3).

Si, por el contrario, dicho valor es inferior (<C), los enfriadores deberán ser desactivados (4).

Cada segundo (b) se envía a la LCD (5) la información recibida para ser mostrada en pantalla de manera que esta se actualiza en ese intervalo de tiempo, al

mismo tiempo que se comunica con el *Menú de Pantalla (6)* donde se almacenan las configuraciones del sistema.

Cuando se activa el *Selector de Consigna (c)* se accede a la *Configuración de Consigna (7)*, que envía los parámetros registrados a la *LCD*, siempre y cuando esté activado el selector. Estos parámetros del *Control de Consigna (8)* son gobernados por un *Potenciómetro (d)*.

De manera automática y sin que se precise cumplir ninguna condición el sistema será de detectar y corregir los posibles errores por sí mismo, denominado, en este caso, *Test (9)*.

La etapa *Inicio* se deberá configurar en la función *Setup* del *IDE* donde se declaran las variables, se configuran las entradas y salidas y además se introducen los comandos necesarios que el sistema compruebe los posibles fallos de los sensores realizando un test de su estado.

Por otro lado, en la función *"loop"*, donde el código se ejecutará de forma permanente e indefinida, se leen las entradas analógicas y se realiza la comparación entre el valor de la señal medida con la consigna debiéndose cumplir las siguientes condiciones, anteriormente mencionadas:

- Si el **valor de la temperatura** medida es **superior** al valor de la consigna establecida, el sistema deberá **activar** los enfriadores.
- Si el **valor de la temperatura** medida es **inferior** al valor de la consigna establecida, el sistema deberá **desactivar** los enfriadores.

También en esta función se deberán introducir los parámetros para que de manera automática y sin que se precise cumplir ninguna condición el sistema sea capaz de detectar y corregir los posibles errores por sí mismo.

3.6 Montaje

Es la parte final de Proyecto constituyendo la culminación de éste y donde el dispositivo cobra forma física al implementar todos y cada uno de los elementos que lo componen entre sí formando un conjunto.

Una vez culminado el diseño y tras las pertinentes pruebas, se van montando y soldando en la placa los diferentes circuitos y demás elementos, comprobando su funcionamiento paso a paso. Se trata de un proceso lento laborioso y que debe ser realizado de una forma concienzuda por lo que necesita de una importante cantidad de horas de trabajo. En las figuras 52 y 53 se pueden observar la placa base de circuitos realizada en este proyecto.

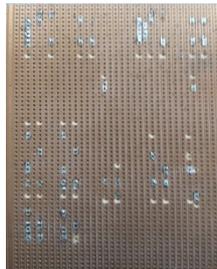


Ilustración 52: Placa de ubicación de componentes.

Fuente; Elaboración propia

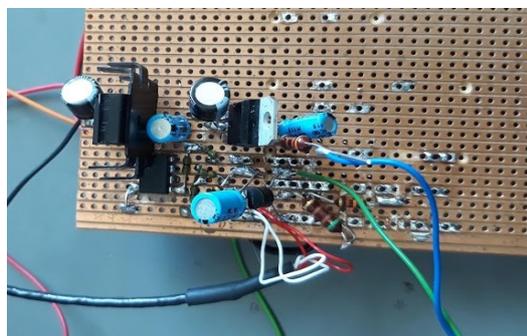


Ilustración 53 Elementos montados en placa.

Fuente: Elaboración propia

Para conectar a la placa, obtenida en el paso anterior, el microcontrolador Arduino y la pantalla LCD se ha procedido primeramente a montarlos en la placa protoboard y comprobar su funcionamiento (ver figura 54), tras lo cual se han trasladado las conexiones a la placa y se han soldados éstas a la misma.

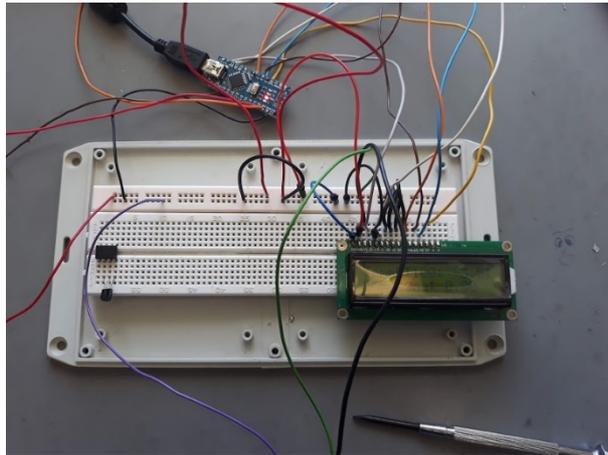


Ilustración 54: Comprobación conexiones Arduino y LCD

Fuente: Elaboración propia

El mismo proceso se ha realizado para los diferentes elementos de actuación como los potenciómetros que controlan el Brillo y la Consigna y el interruptor que realiza la función de selector de consigna.

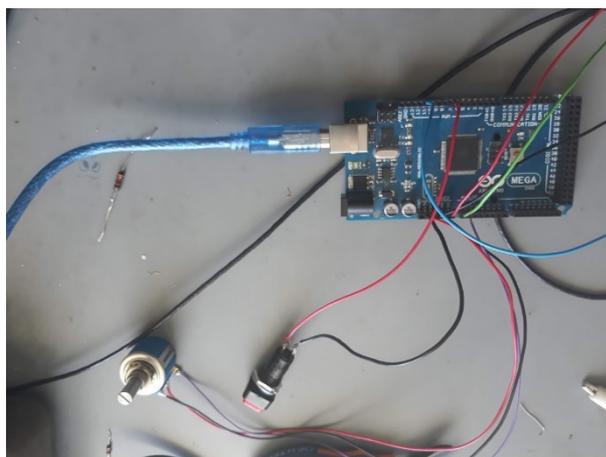


Ilustración 55: Conexiones Control Brillo y Selector Consigna

Fuente: Elaboración propia

Una vez conexionados y soldados todos los componentes a la placa de conexión se ha procedido a disponer todos los elementos que componen el sistema en una caja estanca de derivación eléctrica que se ha reutilizado para que haga las funciones de carcasa de protección del Termostato Digital de Control.



Ilustración 56: Caja estanca Gewiss GW 44 004

Fuente: <https://www.gewiss.com/es/es/products/experience-catalogue/catalogs/lighting>

En la figura 57 se muestra el dispositivo que, durante un corto periodo de tiempo, fue usado en el Observatorio de forma portátil para el control y regulación de la temperatura en diferentes dispositivos ubicados en diferentes localizaciones.

Sin embargo, en la actualidad se encuentra implementado permanentemente en un dispositivo de detección de gases de observatorio con la finalidad de desalojar gases “indeseados” del ambiente por lo que se necesita un control de la temperatura



Ilustración 57: Aspecto final del Termostato Digital de Control

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

La realización, de manera satisfactoria, de los procesos de diseño y fabricación del termostato digital de control, me han permitido aplicar los conocimientos adquiridos durante la realización del Grado en Ingeniería Radioelectrónica Naval para conseguir, desde cero, la creación de un dispositivo absolutamente operativo y funcional.

El resultado final de este proyecto ha sido, efectivamente, un prototipo que ha cumplido con todas las condiciones impuestas desde un principio y que funciona correctamente ya que incluso a día de hoy se encuentra implementado en uno de los equipos usados en el Observatorio cumpliendo su función perfecta y continuadamente.

Este proyecto ha exigido de un estudio de los circuitos y elementos usados para completar el sistema, lo que me ha permitido afianzar conocimientos ya adquiridos. También, y debido a las dificultades encontradas durante el procedimiento, me he visto a solucionar problemas y detectar errores, de manera que he podido desarrollar diversas capacidades de solvencia de dificultades.

Este proyecto consta de dos partes bien diferenciadas, por un lado, el propio proceso “físico” de diseño y construcción del dispositivo, desarrollado en el Observatorio de Izaña durante la realización de las practicas externas; por otro lado, la recopilación de información y redacción de la presente memoria que junto con la presentación constituyen el Trabajo Fin de Grado.

Durante al proceso “físico” de diseño y construcción he podido adquirir múltiples conocimientos adquiridos y destrezas realizadas durante el mismo en los cuales me he tenido que enfrentar a numerosas complicaciones que han debido ser subsanadas “sobre la marcha” puesto que, si un circuito o elemento no funcionaba en un momento dado, no se podía continuar añadiendo el siguiente hasta que el problema no fuese solucionado. También en este proceso he podido familiarizarme aún más con las diferentes herramientas, aplicaciones y equipos usados destacando especialmente todo lo relacionado con las placas de Arduino que con un lenguaje de programación bastante

sencillo y asequible permite lograr unas estupendas aplicaciones, lo que unido al carácter gratuito de su software y la gran capacidad de su plataforma para compartir, hacen de este tipo de placas sean muy útiles y económicas.

El desarrollo de la redacción del TFG ha conllevado dificultades derivadas de llevar al papel lo realizado en el laboratorio y documentarlo lo más precisamente posible. Esto me ha obligado a argumentar de la manera más correcta y rigurosa todos los pasos realizados, como exige un trabajo de este tipo. De igual manera, e igual de importante, el formato del documento debe cumplir con unos mínimos exigidos, labor que necesita de un tiempo de horas dedicadas importante.

En definitiva, y a modo de resumen, podría afirmar que la elaboración de este proyecto, contando tanto la parte de diseño y fabricación como la definitiva con la propia redacción del TFG, han supuesto una experiencia inolvidable y en la que he comprobado que he adquirido los conocimientos necesarios tanto teóricos como prácticos, para poder cumplir con cualquier futuro proyecto de cualquier dispositivo electrónico.

5. CONCLUSIONS

The successful completion of the design and manufacturing processes of the digital control thermostat has allowed me to apply the knowledge acquired during the completion of the Degree in Naval Radioelectronic Engineering to achieve, from scratch, the creation of a device absolutely operational and functional.

The final result of this project has been, in fact, a prototype that has complied with all the conditions imposed from the beginning and that works correctly since even today is implemented in one of the equipment used in the Observatory performing its function perfectly and continuously.

This project has required a study of the circuits and elements used to complete the system, which has allowed me to consolidate knowledge already acquired. Also, and due to the difficulties encountered during the procedure, I have seen myself solving problems and detecting errors, so that I have been able to develop various capacities of solvency of difficulties.

This project consists of two well-differentiated parts, on the one hand, the "physical" process of design and construction of the device itself, developed in the Izaña Observatory during the performance of external practices; on the other hand, the compilation of information and writing of this report that together with the presentation constitute the End of Degree Project.

During the "physical" process of design and construction I have been able to acquire multiple knowledge and skills acquired during it in which I have had to face numerous complications that have had to be remedied immediately because, if a circuit or element did not work at a given time, you could not continue adding the next one until the problem was solved. Also in this process I have been able to familiarize myself even more with the different tools, applications and equipment used, highlighting especially everything related to the Arduino boards, which with a fairly simple and affordable programming language can achieve great applications, which together with the free

nature of its software and the great capacity of its platform to share, make this type of boards are very useful and economical.

The development of the writing of the TFG has entailed difficulties derived from taking to paper what has been done in the laboratory and documenting it as precisely as possible. This has forced me to argue in the most correct and rigorous way all the steps taken, as a job of this type requires. Equally, and just as important, the format of the document must comply with minimum requirements, a task that requires a significant amount of time dedicated.

In short, and by way of summary, I could say that the development of this project, including both the design and manufacturing and the final part with the drafting of the TFG itself, have been an unforgettable experience and in which I have verified that I have acquired the necessary knowledge both theoretical and practical, to be able to meet any future project of any electronic device.

6. LISTA DE ACRÓNIMOS

A (Amperio)

AEMET (Agencia Española de Meteorología)

Av (Ganancia de tensión)

C (Condensador)

ca (Corriente alterna)

cc (Corriente continua)

CI (Circuito Integrado)

dpp (Diferencia de potencial)

F (Faradios)

Ic (Corriente continua de salida)

I (Corriente eléctrica)

L (Inductor/Bobina)

LED (Light-Emitting Diode-Diodo Emisor de luz)

LW (Livewire, programa de simulación electrónica)

LCD (Pantalla de cristal líquido)

Vca (Tensión alterna de alimentación)

R (Resistencia)

RL (Resistencia de carga)

RTOS (Real Time Operation System)

TFG (Trabajo Fin de Grado)

V (Voltaje)

Vcc (Tensión continua de alimentación)

Vi (Voltaje de entrada)

Vo (Voltaje de salida)

Xc (Reactancia Capacitativa)

Zi (Impedancia de entrada)

Zo (Impedancia de salida)

7. LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Diagrama de bloques del Microcontrolador	13
Ilustración 2: Divisor de tensión.	16
Ilustración 3: Divisor de tensión con tres R de 1K a 12V	17
Ilustración 4: Divisor de tensión con tres R de 1K a 9V	17
Ilustración 5: Circuito de filtro con condensador en paralelo.	18
Ilustración 6: Circuito de filtro con inductancia en serie.....	19
Ilustración 7: Circuito de filtro RC.....	19
Ilustración 8: Circuito de filtro LC.	20
Ilustración 9: Circuito de filtro π	20
Ilustración 10: Circuito de conmutación de un relé.....	21
Ilustración 11: Izquierda, transistor en saturación. Derecha, transistor al corte	22
Ilustración 12: Amplificador No-Inversor-Señales entrada/salida.....	22
Ilustración 13: Circuitos reguladores de tensión.....	24
Ilustración 14: Circuito divisor de tensión.....	25
Ilustración 15: Cálculos del amplificador operacional No-Inversor.....	26
Ilustración 16: Nuevos cálculos del amplificador operacional No-Inversor.	26
Ilustración 17: Conexiones Amplificador Operacional LM2904n.....	27
Ilustración 18: Conexiones Arduino MEGA 2560.	27
Ilustración 19: Conexiones Pantalla LCD 16x32.	28
Ilustración 20: Activación del relé controlador de actuadores del sistema.	30
Ilustración 21: Diseño final del Termostato Digital de Control.	30
Ilustración 22: Pruebas del diseño del sistema.	31
Ilustración 23: Estación soldadora.	32
Ilustración 24: Bomba desoldadora.....	32
Ilustración 25: Símbolo resistencia.....	33
Ilustración 26: Resistencias de película de carbón.....	33
Ilustración 27: Curva característica de funcionamiento PT100.....	34
Ilustración 28: Resistencia PT100.....	34

Ilustración 29: Símbolo condensador.....	36
Ilustración 30: Condensador electrolítico 100 μ F.....	37
Ilustración 31: Curva Corriente/Voltaje característica del diodo.....	38
Ilustración 32: Símbolo diodo Zener.....	39
Ilustración 33: Símbolo diodo LED.....	39
Ilustración 34: Símbolo Regulador de Tensión.....	40
Ilustración 35: Patillaje del Regulador de Tensión 5V LM7805.....	40
Ilustración 36: Grafica señales entrada/salida Operacional No-Inversor.....	41
Ilustración 37: Patillaje de conexión LM2904n.....	41
Ilustración 38: Simbología transistores NPN/PNP.....	42
Ilustración 39: Transistor NPN BC338-16.....	44
Ilustración 40: Arduino MEGA 2560.....	45
Ilustración 41: Pantalla LCD 16x32.....	48
Ilustración 42: Fusible, Fuente de alimentación de 7.5 V _{cc} e Interruptor de un polo. ...	49
Ilustración 43: Fuente Alimentación Reglable Tecstar TAC30-3D.....	50
Ilustración 44: Multímetro Digital Kenwood DL-97.....	51
Ilustración 45: Pantalla principal del programa Livewire.....	52
Ilustración 46: Pantalla principal ElectroDroid.....	53
Ilustración 47: Página principal de Arduino.....	54
Ilustración 48: Pasos a seguir para la instalación del IDE Arduino.....	56
Ilustración 49: IDE Arduino.....	56
Ilustración 50: Secuencia de encendido LED.....	60
Ilustración 51: Graficet de funcionamiento del Termostato Digital de Control.....	61
Ilustración 52: Placa de ubicación de componentes.....	63
Ilustración 53 Elementos montados en placa.....	63
Ilustración 54: Comprobación conexiones Arduino y LCD.....	64
Ilustración 55: Conexiones Control Brillo y Selector Consigna.....	64

Ilustración 56: Caja estanca Gewiss GW 44 004	65
Ilustración 57: Aspecto final del Termostato Digital de Control.....	65

8. LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Conexiones Arduino MEGA 2560.....	28
Tabla 2: Conexiones Pantalla LCD.	29
Tabla 3: Herramientas usadas.	31
Tabla 4: Materiales usados.	32
Tabla 5: Relación de resistencias, sensores y potenciómetros usados.	35
Tabla 6: Relación de condensadores usados.....	37
Tabla 7: Relación de diodos usados.	39
Tabla 8: Características eléctricas Transistor BC338-16.....	44
Tabla 9: Características principales Arduino MEGA 2560.....	46
Tabla 10: Pines de conexión Pantalla LCD 16x32.....	48
Tabla 11: Equipos usados.....	51

9. BIBLIOGRAFÍA

A. Malvino and D. Bates. 2007. *Principios de Electrónica.* 7ª ed. Madrid : Mc Graw Hill, 2007.

F. Arrebola Pérez and J.P. Bandera et al. 2008. *Teoría y Diseño de Microcontroladores de Freescale.* Madrid : Mc Graw Hill, 2008.

F. Buqué. 2007. *Manuales prácticos de refrigeración.* s.l. : Bilbao, 2007.

J. García Trasancos. 2009. *Electrotecnia,*. 10ª ed. Madrid : Paraninfo, 2009.

J.M. Fiore. 2002. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales.* [ed.] Thomson Editores. Madrid : Paraninfo, 2002.

J.P. Deschamps. 1989. *Diseño de Sistemas Digitales.* Madrid : Paraninfo, 1989.

L.Cuesta and A. Gil Padilla et al. 1991. *Electrónica Analógica: Análisis de circuitos.* Madrid : Mc Graw Hill, 1991.

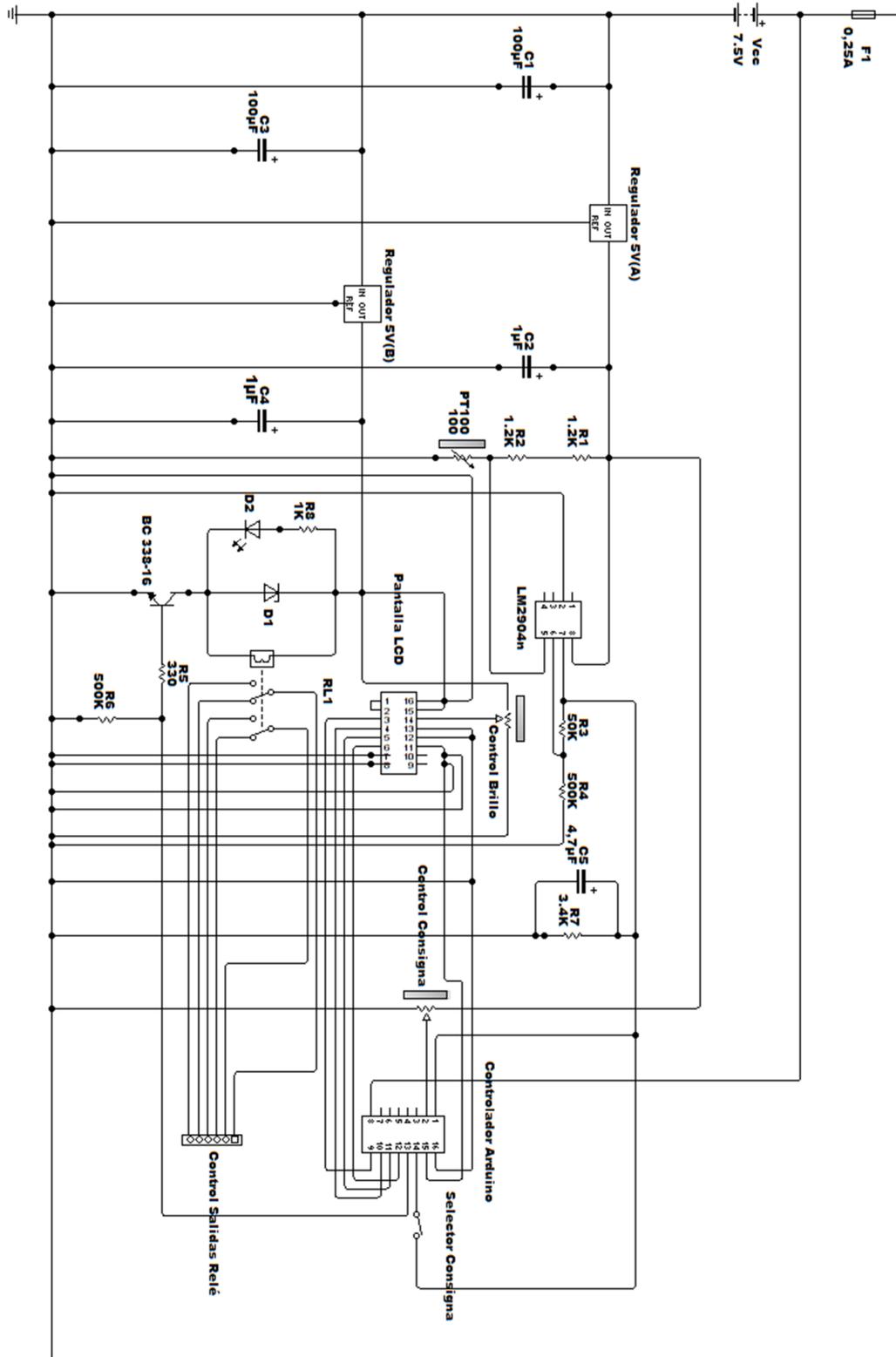
P. Alcalde San Miguel. 2009. *Electrónica General.* 2ª ed. Madrid : Paraninfo, 2009.

P. García Guillén. 2009. *Circuitos de continua.* Madrid : Paraninfo, 2009.

S. Cogollo Borrás. 2016. *Fundamentos de la Teoría de Filtros.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

10. ANEXOS

Anexo I: Diseño del Sistema



Anexo II: Presupuesto del Sistema

Componente	Nombre	Valor/Denominación	Precio unidad	Importe
<i>Resistencias</i>	R1/R2	1,2K	0,10 €	0,20 €
	R2/R3/R6	500K	0,10 €	0,30 €
	R5	330	0,10 €	0,10 €
	R7	3,4K	0,10 €	0,10 €
	PT100	Termoresistencia PT100	16,07 €	16,07 €
<i>Potenciómetros</i>	Control Consigna	Potenciómetro BOURNS 2K	9,80 €	9,80 €
	Control Brillo	Potenciómetro 3310C 2K	2,66 €	2,66 €
<i>Condensadores</i>	C1/C3	Condensador electrolítico 100u	0,66 €	1,32 €
	C2/C4	Condensador electrolítico 1u	0,40 €	0,80 €
	C5	Condensador electrolítico 4,7u	0,50 €	0,50 €
<i>Diodos</i>	D1	Diodo ZENER	0,88 €	0,88 €
	D2	Diodo LED	1,07 €	1,07 €
<i>Amplificador Operacional</i>	LM2904n	Circuito Integrado LM2904n	1,37 €	1,37 €
<i>Transistor</i>	BC338-16	Transistor BC338-16	0,60 €	0,60 €
<i>Reguladores</i>	Regulador 5V (A)	LM7805	2,89 €	2,89 €
	Regulador 5V (B)	LM7805	2,89 €	2,89 €
<i>Micronrolador</i>	Controlador Arduino	Arduino MEGA 2560	12,99 €	12,99 €
<i>Pantalla</i>	Pantalla LCD	Pantalla LCD 16x32	3,95 €	3,95 €
<i>Fuente de Alimentación</i>	12V		19,08 €	19,08 €
<i>Fusible</i>	F1	0,25A	0,32 €	0,32 €
<i>Interruptor</i>	Selector Consigna	Interruptor de palanca metálico 1 polo	1,20 €	1,20 €
TOTAL PRESUPUESTO				79,09 €

Anexo III: Programa Arduino

```
/*
  LiquidCrystal Library - PT100

  The circuit:
  * LCD RS pin to digital pin 12
  * LCD Enable pin to digital pin 11
  * LCD D4 pin to digital pin 5
  * LCD D5 pin to digital pin 4
  * LCD D6 pin to digital pin 3
  * LCD D7 pin to digital pin 2
  * LCD R/W pin to ground
  * LCD VSS pin to ground
  * LCD VCC pin to 5V
  * 10K resistor:
  * ends to +5V and ground
  * wiper to LCD VO pin (pin 3)

  */

#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>

const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

int sensorPin = A0;
int potenciometro = A1;
byte ledPin=9;
byte rele=8;

int sensorValue = 0;
float potenciometroValue = 0;
float valortemp=0.0;
float valortempmax=-150.0;
float valortempmin=100.0;
float consignatemp=-60.0;
String Estadorele="Unknow";

unsigned long anterior=0;
unsigned long periodo=1000;

unsigned long anterior1=0;
unsigned long periodo1=100;

byte menu=0;
float addr = 0;
byte consignatempeprom;
String Estadopt100="UnKnow";
void setup() {
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);
  // Print a message to the LCD.
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Control");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Enfriadores");

  pinMode(rele, OUTPUT);
  pinMode(7, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  consignatempeprom=EEPROM.read(addr);
  consignatemp=map(consignatempeprom,0, 256, -100, 150);
  //consignatempeprom=map(consignatemp, -100, 150, 0, 256);

  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  valortemp=sensorValue*5;
  valortemp=((valortemp/1024)*104.5)-237;

  digitalWrite(ledPin, LOW);
  digitalWrite(rele, LOW);
  Estadorele="OFF";
}
```

```
        if(valortemp>150 and valortemp<-100){
        Estadopt100="ERROR";
        }else{
            Estadopt100="OK";
        }

        delay(1000);
    }

void loop() {

    if (millis() - anterior > periodo){
        anterior=millis();
        /*Serial.print(consignatemp);
        Serial.print(",");
        Serial.print(valortemp);
        Serial.print(",");
        Serial.print(Estadorele);
        Serial.print(",");
        Serial.print(valortempmax-valortempmin);
        Serial.print(",");
        Serial.println(Estadopt100);*/

        //Autodiagnostico
        if(valortempmax-valortempmin >= 0.52 or valortempmax-valortempmin <= -0.52 ){//Condional de señal ruidosa
            Estadopt100="RUIDO";
            if(valortemp>30 or valortemp<-80){ //Condional de valores de temperatura coherentes
                Estadopt100="ERROR";
            }
        }else{

            if(valortemp-consignatemp>5 ){
                Estadopt100="CALOR";
            }else if(valortemp-consignatemp<-5){
                Estadopt100="FRIO";
            }else{
                Estadopt100="OK";
            }

            if(valortemp>30 or valortemp<-80){ //Condional de valores de temperatura coherentes
                Estadopt100="ERROR";
            }
        }

        //Reinicio máx y mín por segundo
        valortempmax=-100;
        valortempmin=150;
        lcd.begin(16, 2); //Reinicio pantalla LCD16x2
        //Menus de pantalla
        switch (menu){
            case 0://Temperatura pt100
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(0, 0);
                lcd.print("T:");
                lcd.setCursor(2, 0);
                lcd.print(valortemp);
                lcd.setCursor(9, 0);
                lcd.print("/");
                lcd.setCursor(10, 0);
                lcd.print(consignatemp);
                lcd.setCursor(0, 1);
                lcd.print("Rele:");
                lcd.setCursor(5, 1);
                lcd.print(Estadorele);
                lcd.setCursor(11, 1);
                lcd.print(Estadopt100);
                break;
            case 1://Estado de salida de rele
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(0, 0);
                lcd.print("Consigna:");
                lcd.setCursor(0, 1);
                lcd.print(consignatemp);
                break;
        }
    }
}
```

```
}

if (millis() - anterior1 > periodo1){ //Control temperatura periodico
    anterior1=millis();

    sensorValue = analogRead(sensorPin); //Lectura de entrada analógica correspondiente a la Pt100
    valorTemp=sensorValue*5;
    valorTemp=((valorTemp/1024)*104.5)-237; //Fórmula de calibración de la señal amplificada de la pt100 en circuito de adaptación de señal

if(digitalRead(7)==HIGH){ //Condional selector de consigna, menú configuración de consigna
    potencioValue = analogRead(potencio); //Lectura entrada analógica correspondiente al potencio para establecer consigna entre -100 y 150°C
    consignaTemp=map(potencioValue, 0, 1023, -100, 150); //Escalado lineal de señal analógica a temperatura
    menu=1;
    consignaTempProm=map(consignaTemp, -100, 150, 0, 256); //Escalado lineal de temperatura a byte
    EEPROM.write(addr, consignaTempProm); //Almacenamiento en memoria eeprom de valor de consigna
}else{//Condional selector de consigna, menú principal
    menu=0;
}

//Condicionales de control de relé por temperatura °C
if(valorTemp<=consignaTemp){
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    digitalWrite(rele, LOW);
    EstadoRele="OFF";
}

if(valorTemp>consignaTemp+1.5){
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    digitalWrite(rele, HIGH);
    EstadoRele="ON";
}

//Establecer máximo y mínimo por segundo para detectar ruido en la señal de la pt100
if(valorTempmax<valorTemp){
    valorTempmax=valorTemp;
}

if(valorTempmin>valorTemp){
    valorTempmin=valorTemp;
}

}

}
```
