

Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

DISSENY I CREACIÓ D'UNA PCB PER A LA GESTIÓ D'UN SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ PER TERRA RADIANT

Memòria de detall

Andrea Jiménez Rabassa
PONENT: Dra. Virginia Espinosa Duró

CURS 2022-2023

Dedicatòria

Agrair el suport de la meva família
que sempre ha confiat en mi.

Agraïments

Vull expressar el meu sincer agraïment a la Dra. Virginia Espinosa, la meva tutora de TFG, per la seva dedicació, ànims i orientació durant els moments més difícils del projecte. La seva guia i consell han estat inestimables per aconseguir els objectius establerts.

També, vull agrair al Dr. Joan Triadó i al Dr. Francesc Flores per l'assessorament específic que m'han proporcionat en certs punts crucials del projecte. La seva experiència i coneixement ha estat clau per a l'èxit i la finalització del projecte.

Finalment, desitjo expressar el meu agraïment a l'empresa *Global Piping Systems SL* per la idea del projecte i l'oportunitat de col·laborar amb ells en el seu desenvolupament, en concret al Sr. Miguel Ángel Sanz cap de projectes de l'empresa. La seva confiança i suport han estat fonamentals per a la realització d'aquest projecte.

Cada una d'aquestes persones i entitat ha jugat un paper important en el meu projecte i els estic profundament agraïda per la seva contribució i suport al llarg d'aquest camí.

Resum

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar i crear una central electrònica de connexions governada per un microcontrolador que permeti controlar els sistemes de climatització per terra radiant d'un habitatge, amb la finalitat de millorar l'eficiència energètica i prendre consciència del medi ambient. Aquest treball engloba tot el procés de disseny i programació, tant de la unitat de control com del microcontrolador per implementar el producte final. El prototip contribueix a millorar tant l'eficiència energètica com el benestar que la seva implementació pot aportar a les persones.

Resumen

El objetivo de este proyecto es diseñar y crear una central electrónica de conexiones gobernada por un microcontrolador que permita controlar los sistemas de climatización por suelo radiante de una vivienda, con el fin de mejorar la eficiencia energética y ser más conscientes con el medio ambiente. Este trabajo engloba todo el proceso de diseño y programación, tanto de la unidad de control como del microcontrolador para implementar el producto final. El prototipo contribuye a mejorar tanto la eficiencia energética como el bienestar que su implementación puede aportar a las personas.

Abstract

The aim of this project is to design and create an electronic connection center governed by a microcontroller that allows the control of underfloor heating systems in a home, with the aim of improving energy efficiency and being more aware of the environment. This work encompasses the entire design and programming process, both the unit control and the microcontroller to implement the final product. The prototype contributes to improve energy efficiency and the well-being that its implementation can bring to people.

Índex

Índex de figures	III
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes	IX
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit	1
1.2. Finalitat	1
1.3. Objecte	1
1.4. Abast	1
1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus3	
2. Introducció	5
2.1. Identificació del problema	5
3. Marc teòric	7
3.1. Marc conceptual.....	7
3.1.1. Emissions de CO ₂ de les llars.....	7
3.1.2. Microcontroladors	9
3.1.3. Expressions tècniques de terra radiant i PCB.....	12
3.2. Marc contextual	15
3.2.1. Història dels sistema de calefacció per sòl radiant.....	15
3.2.2. Avantatges i inconvenients del sistema de terra radiant respecte el sistema de calefacció per radiadors.....	18
3.3. Marc normatiu.....	19
4. Estat de l'art	23
5. Solució tecnològica	31
5.1. Metodologia.....	34
6. Resultats	37
6.1. Programació del microcontrolador	37
6.2. Desenvolupament de la placa.....	59
6.2.1. Disseny, anàlisi i simulacions de circuits.....	59
7. Impacte mediambiental	87
7.1. Energia.....	87

7.2. Recursos.....	88
7.3. Residus.....	89
8. Perspectiva de gènere.....	91
9. Planificació.....	93
9.1. Planificació inicial.....	93
9.2. Planificació final.....	100
10. Pla de contingència.....	103
10.1. AMFE del producte.....	103
10.2. Pla de contingència del producte.....	114
10.2.1. Riscos tècnics.....	114
10.3.2. Riscos normatius.....	120
10.3.3. Riscos de temps.....	121
10.3.4. Riscs financers.....	121
10.3.5. Conclusions de l'AMFE.....	122
11. Conclusions.....	125
11.1. Línies futures.....	126
12. Referències.....	129

Índex de figures

Figura 3.1.1.1. Estadística de les emissions de l'Efecte Hivernacle en els anys 2008 i 2021. Es pot observar com contribueix la llar a aquesta contaminació [10].....	9
Figura 3.1.2.1. Estructura d'un microcontrolador i microprocessador, on es distingeixen els diferents subsistemes de cadascun [13].....	10
Figura 3.2.1.1. Funcionament d'un "ondol" Corea [28]	15
Figura 3.2.1.2. Exemple de com funciona un "hipocaust" [29]	16
Figura 3.1.2.3. Connexió d'una central de regulació del sistema radiant. [31]	17
Figura 4.1. PCB de l'empresa <i>Airzone</i> amb la referència del producte "AZDI6ACUAZONE" [40]	25
Figura 4.2. Unitat de control de l'empresa <i>Seitron</i> , referència del producte "ALCD08M02"[44].	26
Figura 4.3. Placa de connexions de l'empresa <i>Uponor</i> , anomenada " <i>Uponor Smatrix Base Pulse X-245 BUS6 6X</i> " [44]	27
Figura 4.4. PCB de l'empresa <i>Möhlenhoff</i> , anomenada " <i>OEM ALPHA direct Balance base station</i> " [46].....	27
Figura 4.5. PCB de l'empresa <i>Resideo</i> , anomenada <i>Honeywell Home HCC100</i> [48].....	28
Figura 5.1. Diagrama de blocs de la placa de regulació del processament d'entrades i sortides del microcontrolador.	31
Figura 5.2. Graf del funcionament de la placa de regulacions, primera part.	32
Figura 5.3. Graf del funcionament de la placa de regulacions, segona part.....	33
Figura 5.4. Graf del funcionament de la placa de regulacions, tercera part.....	33
Figura 6.1.1. Microcontrolador en l'entorn <i>STM32CubeIde</i>	38
Figura 6.1.2. Configuració del DMA.	38
Figura 6.1.3. Configuració del GPIO, és a dir, els ports.	39
Figura 6.1.4. Configuració del <i>SysMode</i>	39
Figura 6.1.5. Configuració de l'ADC, on es poden observar dos pins establerts.	40
A continuació es detalla la configuració dels <i>timers</i> del microcontrolador.	40
Figura 6.1.6 . Configuració dels diferents <i>timers</i> que pot utilitzar el microcontrolador.....	40
Figura 6.1.7. Codi per a la configuració d'un <i>pin</i> ADC.....	41
Figura 6.1.8. Configuració del <i>debug</i> on es pot observar la interfície <i>SWD</i> i el port escollit, entre altres elements que ja venen determinats.	42
Figura 6.1.9. A continuació de la figura 6.1.8, s'habilita el <i>SWV</i> i s'assegura que el <i>clock</i> i el port siguin els correctes.....	43
Figura 6.1.10. Tros de codi del programa bàsic que es detalla a l'annex III	44
Figura 6.1.11. Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambient en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 45°C.....	45
Figura 6.1.12 . Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambient en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura d'impulsió a 40°C.	46
Figura 6.1.13 . Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambient en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 50°C.....	47

Figura 6.1.14. Simulació del sistema al <i>Simulink</i>	48
Figura 6.1.15. Funció dins la <i>Matlab Function</i> anomenada Control del sistema inferior.	49
Figura 6.1.16. Funció dins la <i>Matlab Function</i> anomenada habitació del sistema inferior.	49
Figura 6.1.17. Funció dins de la <i>Matlab Function</i> anomenada <i>Control relé</i> del sistema superior, el qual implementa la histèresis.	50
Figura 6.1.18. Funció dins la <i>Matlab Function</i> anomenada <i>habitació</i> del sistema superior, en la qual s'implementen les funcions de pujada i baixada de la corba del sistema.....	50
Figura 6.1.19. Resposta de la Simulació de la figura 6.1.14, la retolada en blau fa referència al sistema inferior i la retolada en groc al sistema superior	51
Figura 6.1.20. En aquesta imatge es pot observar l'error superior A, el qual s'intenta reduir [51].	52
Figura 6.1.21. La resposta vermella és la que s'obté i la blava la que es desitja aconseguir.[51]......	52
Figura 6.1.22. Tros de codi que emmagatzema un històric de les últimes temperatures	53
Figura 6.1.23. Funció per calcula la pendent de la temperatura.....	54
Figura 6.1.24. Resposta del sistema amb una temperatura d'impulsió de 45°C.	55
Figura 6.1.25. Resposta del sistema sota una temperatura de la bomba d'impulsió a 50°C. ...	56
Figura 6.1.26. Resposta del sistema per una temperatura de la bomba d'impulsió a 40°C.....	56
Figura 6.1.27. Resposta dels sistemes actuals, amb la temperatura d'impulsió a 40°C.	58
Figura 6.2.1.1. Representació port d'entrada.	60
Figura 6.2.1.2. Representació port de sortida.....	60
Figura 6.2.1.3. Esquema del circuit de l'alimentació general en <i>Altium Designer</i>	60
Figura 6.2.1.4. Esquema del circuit <i>d'alimentació_uc</i> de l' <i>Altium Designer</i>	62
Figura 6.2.1.5. Esquem dels diferents circuits que componen el microcontrolador i el microcontrolador amb els pins pre-establerts.....	64
Figura 6.2.1.6. Esquema del circuit que escull el mode en que treballa la placa.	67
Figura 6.2.1.7. Esquema de la connexió de les sondes a la PCB, extret <i>d'Altium Designer</i> . ..	68
Figura 6.2.1.8. Esquema de la connexió de tres actuadors en un relé.....	70
Figura 6.2.1.9. Esquema de la bomba d'impulsió.....	71
Figura 6.2.1.10. Esquema circuit sensor d'humitat.....	72
Figura 6.2.1.11. Esquema de les connexions per al control d'aerotèrmia.....	73
Figura 6.2.1.12. Esquema de la il·luminació de mode calor.....	74
Figura 6.2.1.13. Circuit bàsic d'il·luminació dels <i>leds</i> del mode calor.	75
Figura 6.2.1.14. Esquema d' il·luminació de mode fred.....	76
Figura 6.2.1.15. Circuit bàsic d'il·luminació dels <i>leds</i> del mode fred.....	76
Figura 6.2.1.16. Esquema d' il·luminació d'encès i apagat.	77
Figura 6.2.1.17. Circuit bàsic d'il·luminació dels <i>leds</i> del mode fred.....	77
Figura 6.2.1.20. Circuit bàsic d'il·luminació dels leds del mode fred.....	78
Figura 6.2.1.21: Simulació del circuit de mode calor, de les zones i de la bomba.	81
Figura 6.2.1.22. Simulació del circuit de mode fred, el <i>led</i> és groc ja que no s'ha trobat un <i>led</i> amb les mateixes característiques que el real.....	81
Figura 6.2.1.23. Simulació del circuit d'encesa/apagat.....	81
Figura 6.2.1.24. Imatge de la simulació en físic dels circuits.	82
Figura 6.2.1.22. Interfície de creació de components; símbols, <i>footprints</i> i 3D.	83

Figura 6.2.1.23. Disseny de PCB creat.	85
Figura 9.1.2. Diagrama de Gantt de la planificació, una forma més visual de veure la distribució de les tasques. Part1	95
Figura 9.1.3. Diagrama de Gantt de la planificació, una forma més visual de veure la distribució de les tasques. Part2	96

Índex de taules

Taula 9.1.1. Planificació de les etapes de desenvolupament del projecte.....	93
Taula 9.1.2. Planificació de la primera etapa, estudi sobre el terra radiant.....	97
Taula 9.1.3. Planificació de la segona etapa, programació del microcontrolador.....	98
Taula 9.1.4. Planificació de la tercera etapa, anàlisi i disseny de circuits.....	99
Taula 9.1.5. Planificació de la quarta etapa, simulacions de funcionament amb UC.	99
Taula 9.1.6. Planificació de la cinquena etapa, disseny del prototip de la placa amb <i>Altium</i> ..	99
Taula 9.1.7. Planificació de la sisena etapa, fabricació i proves de funcionament de la placa.	100
Taula 9.1.8. Planificació de la setena i vuitena etapa, documentació tècnica i seguiment i control del projecte.....	100
Taula 10.1.1. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en els components electrònics	104
Taula 10.1.2. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	105
Taula 10.1.3. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en el microcontrolador	106
Taula 10.1.4. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	106
Taula 10.1.5. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en els circuits electrònics.....	107
Taula 10.1.6. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	107
Taula 10.1.7. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en l'alimentació elèctrica.....	108
Taula 10.1.8. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	108
Taula 10.1.9. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en l'alimentació elèctrica.....	109
Taula 10.1.10. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	109
Taula 10.1.11. Anàlisi de riscos normatius.....	110
Taula 10.1.12. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	111
Taula 10.1.13. Anàlisi de riscos normatius.....	112
Taula 10.1.14. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	112
Taula 10.1.15. Anàlisi de riscos financers.....	113
Taula 10.1.16. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.....	113
Taula 10.3.5. 1. Riscos tècnics. AMFE actualitzada.....	123
Taula 10.3.5. 2. Riscos normatius. AMFE actualitzada.....	123
Taula 10.3.5. 3. Riscos de temps. AMFE actualitzada.....	123
Taula 10.3.5.4. Riscos financers. AMFE actualitzada.	123

Glossari de termes

ACS	Aigua Calenta Sanitària
BOM	<i>Bill of Materials</i>
CE	Comunitat Europea
CO ₂	Diòxid de Carboni
CPU	Unitat Central de Processament (<i>Central Processing Unit</i>)
CTE	Codi Tècnic de l'Edificació
DSB	Modulació de doble banda lateral (<i>Double Side Band</i>)
EEPROM	Memòria de només lectura programable i esborrable elèctricament (<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>)
HAL	<i>Hardware Abstraction Layer</i>
HVAC	Calefacció, ventilació i aire condicionat (<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>)
I2C	Bus sèrie de dades (<i>Inter-Integrated Circuit</i>)
IDAE	Institut per la Diversificació i Estalvi de l'Energia
INE	Institut Nacional d'Estadística
KWh	Kilowatt hora (unitat d'energia)
MBL	Multicapa (<i>Multilayer Board</i>)
PCB	Placa de circuit imprès (<i>Printed Circuit Board</i>)
PCBA	(<i>Printed Circuit Board Assembly</i>)
PID	Controlador Proporcional-Integral-Derivada (<i>Proportional-Integral-Derivative</i>)
PVP	Preu de Venta al Públic
PWM	Modulació de l'ample de pols (<i>Pulse Width Modulation</i>)
RAM	Memòria d'emmagatzematge a curt termini (<i>Random Access Memory</i>)
RITE	Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis
ROM	Memòria de només lectura (<i>Read Only Memory</i>)
SMD	<i>Surface Mounting Device</i>
SPI	Estàndard de comunicacions (<i>Serial Peripheral Interface</i>)
SSB	Modulació de banda lateral única (<i>Single Side Band</i>)
STM	Família de microcontroladors STMicroelectronics

UART	Transmissor Receptor Asíncron Universal (<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>)
UC	Microcontrolador
USB	Bus Universal en Sèrie (<i>Universal Serial Bus</i>)

1. Objectius

1.1. Propòsit

Dissenyar una placa de circuit imprès per la regularització de la climatització per terra radiant d'un habitatge, a partir de la combinació de circuits digitals en un microcontrolador.

1.2. Finalitat

Dissenyar un prototip amb control digital que millori l'eficiència del terra radiant i redueixi les emissions de CO₂ proporcionant oportunitats de millora en l'àmbit de la climatització i a un cost reduït.

1.3. Objecte

L'objecte del projecte és el disseny i la creació d'una PCB (Placa de Circuit Imprès) per al control dels diferents components d'un sistema de climatització per terra radiant d'una manera més eficient que les solucions actuals, aportant al mercat un producte competitiu i funcional a un preu raonable. La placa centralitza la regulació del sistema mitjançant un microcontrolador que a partir de les senyals d'entrada que rep respecte a la temperatura i els ajustos de l'usuari, processa les dades mitjançant un programari específic. A continuació, el microcontrolador actua de manera controlada emetent les senyals de sortida per aconseguir la climatització òptima. La PCB permet a l'usuari el canvi de mode de climatització de calefacció a refrigeració i viceversa.

1.4. Abast

En aquest projecte es contempla el procés complet de creació del producte des de zero, és a dir, des de l'estudi de *benchmarking*, l'anàlisi de l'impacte ambiental, la programació del microcontrolador i el disseny del prototip. D'una manera detallada engloba les següents fases:

1. Formació i recopilació d'informació sobre els sistemes de climatització per terra radiant. Amb l'objectiu d'adquirir coneixement dels principals sistemes de calefacció per terra radiant i dels sistemes de control que s'utilitzen.
2. Determinació de les funcions de la placa, considerant les diferents parts i millores que integra la PCB.

3. Formació i comprensió de les eines per a la digitalització del prototip. Es contempla substituir determinats components que permeten fer el control del sistema de climatització de forma digital per una placa de desenvolupament anomenada *stm32f411e-disco*. També s'inclou la formació d'ús de l'entorn de desenvolupament *Stm32CubeIde*.
4. Anàlisi i disseny del prototip. Es realitza el disseny dels diferents circuits que integren la placa de connexions, l'anàlisi electrònica i es determinen els components necessaris per al seu disseny.
5. Programació del microcontrolador. El microcontrolador es programa usant l'entorn de desenvolupament *Stm32CubeIde*.
6. Simulacions. Es realitza la simulació de diversos circuits del prototip fent ús del muntatge en *protoboard* i de programes de simulació.
7. Disseny del circuit imprès utilitzant l'entorn de disseny *Altium Designer*. L'ús d'aquest programari s'inicia amb la realització d'un curs formatiu i se segueix el projecte amb el disseny dels circuits esquemàtics i de la PCB.
8. Elaboració del pressupost del projecte. El pressupost ha de tenir en compte els recursos utilitzats, hores de feina i el cost final del prototip.
9. Documentació de la memòria. Es realitza la redacció de la memòria del projecte que inclou el procés de desenvolupament. Aquesta fase es realitza paral·lelament amb totes les altres parts al llarg de tot el projecte.

En el desenvolupament d'aquest projecte no es té en compte la viabilitat del control de sistemes inalàmbrics, donat que prototip es dissenya pel control de sistemes cablejats. Tampoc s'inclou el control de vàlvules de reducció de pressió, vàlvules mescladores, ni vàlvules antiretorn.

A més, la fabricació final del prototip ha estat condicionada per la data de lliurament del projecte, per tant es presenta la versió dissenyada prèvia a la prototipada.

1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus

El present TFG aborda diferents temàtiques vinculades directament a les assignatures de microprocessadors, informàtica industrial, electrònica digital i analògica, instrumentació, control digital de sistemes i control i simulació de processos industrials dels estudis del grau d'enginyeria electrònica industrial i automàtica. Contempla també els coneixements assolits en altres assignatures de naturalesa transversal, com ara Sostenibilitat i Gestió de Projectes I i II.

Aquest projecte s'ha realitzat dins del context de col·laboració en règim de pràctiques a l'empresa *Global Piping Systems S.L.* pertanyent al grup *AC-fix*, i amb el *Grup de Recerca FI4.0* (Fabricació Intel·ligent i Innovació Industrial) de l'Escola ESUPT del Tecnocampus, dirigit per la professora ponent del present TFG, Dra. Virginia Espinosa.

2. Introducció

2.1. Identificació del problema

Aquest projecte neix arrel de la valoració de diferents avantatges i problemes en la climatització d'un habitatge pel sistema de terra radiant actuals.

Un dels problemes més destacables de la calefacció de les llars és la seva participació en la contaminació del medi ambient. Aquesta contribueix a augmentar la petjada ecològica de CO₂. Els combustibles fòssils com el gas natural, el petroli, i el carbó, utilitzats pels sistemes de calefacció més comuns, són molt contaminants per la gran quantitat de CO₂ que generen. Com a conseqüència, es cerca aportar una millora en l'eficiència de la gestió de la climatització de les llars, plantejant un sistema de calefacció per terra radiant més eficaç que els actuals.

Els sistemes de terra radiant són unes de les opcions menys contaminants del mercat, permetent assolir els diferents objectius de control de la temperatura dins d'un habitatge de manera eficient i beneficiosa, tant pels usuaris com per al medi ambient, ja que es redueixen les emissions de CO₂ ocasionades pels sistemes de calefacció [1].

Ara bé, atès que la majoria de productes que ofereixen un control similar al que es vol desenvolupar tenen uns preus poc accessibles, aquesta solució benefactora per al medi ambient i per l'usuari en moltes ocasions és descartada. Amb el projecte es planteja un sistema per reduir el cost dels sistemes de terra radiant.

Es pretén millorar les prestacions del terra radiant a partir d'un estudi de mercat (*benchmarking*) i desenvolupant millores en el control de les variables a través d'una Placa de Circuit Impres (PCB) per tal d'aconseguir un producte final de control de temperatura competent, i a un preu assequible.

El prototip que es proposa incorpora diverses millores respecte a productes similars, per una part, la millora de l'eficiència del sistema d'impulsió d'aigua i per altra part, la centralització del control del sistema de climatització amb la incorporació d'un microcontrolador.

El prototip consta d'una PCB per el control dels diferents components d'un sistema de climatització per terra radiant més eficient comparat amb els actuals. La placa centra la regulació del sistema amb un microcontrolador que coordina els senyals d'entrada i actua en concordança amb els senyals de sortida, per tal de gestionar el sistema. La PCB permet a l'usuari el canvi de mode de climatització de calefacció a refrigeració i viceversa.

Els senyals d'entrada del sistema s'adquireixen en temps real a partir del seu estat actual, a través de termòstats i higròstats entre altres components. Tenint en compte els paràmetres adquirits de la temperatura i la humitat es procedeix a fer la gestió i control de sortides. Aquestes sortides activen els actuadors, els *fancoils*, les bombes de circulació, la vàlvula de zona de tres vies i el mode de funcionament de la màquina generadora de calor i/o fred.

El nucli del projecte és un microcontrolador escollit a partir d'un estudi exhaustiu realitzat en l'avantprojecte, per trobar el que millor s'adequa a les prestacions que ofereix la central de regulació. S'han valorat diferents aspectes, d'entre els que es distingeix la velocitat de processament, la quantitat de pins, les oportunitats de comercialització, la mida de la PCB a desenvolupar i la incorporació d'un microcontrolador de 32 bits. Com a resum es destaca que s'ha escollit un microcontrolador de 48 pins, que les oportunitat de comercialització se centren a Europa ja que s'utilitzen actuadors de 24V amb una alimentació de la placa de 230V en altern; i també es fa evident que el microcontrolador escollit és de 32 bits, perquè ofereix una velocitat d'execució superior a tenir en compte per al desenvolupament del producte.

Finalment, un altre motiu pel que es desenvolupa aquest projecte es per produir i introduir-lo al mercat de la mà de l'empresa *Global Piping Systems S.L.*, ubicada a Sentmenat, Barcelona, pertanyent al grup *AC-Fix*. La companyia té com a objecte social la venda de productes destinats a instal·lacions sanitàries i de calefacció. L'entitat treballa amb la venda directa i amb la venda a través d'intermediaris de productes aplicats a muntatges de sistemes propis de calefacció i circuits d'aigua sanitària. Els productes propis de l'empresa són fabricats a la sucursal del grup anomenada *Falcon Hardware Manufacturing*, ubicada a la província Zhejiang, Xina. Actualment, s'ha creat un departament de I+D on s'estan desenvolupant diverses propostes d'innovació en relació amb la climatització per terra radiant, i una d'elles és la que consta en aquest projecte.

3. Marc teòric

3.1. Marc conceptual

3.1.1. Emissions de CO₂ de les llars

És de vital importància analitzar com són de contaminants els elements que s'utilitzen diàriament, ja que és evident que la societat es troba en una situació d'emergència climàtica i és necessari prendre accions adequades per minimitzar la contaminació.

Actualment, s'evidencia que el terra radiant és un sector en creixement. Aquest ha augmentat un 21% en les vendes en l'últim any en el mercat espanyol, en contraposició a l'augment d'un 4,4% de les vendes dels radiadors. Amb aquestes dades es demostra el gran impacte actual dels sistemes de terra radiant. Aquest és un bon indicador perquè vol dir que el mercat espanyol ha començat a encaminar-se cap a l'eficiència energètica [2].

El consum d'energia dels sistemes de calefacció depenen de diversos factors com el temps que s'utilitza, la grandària de l'habitatge i la temperatura que s'estableix. Ara bé, el terra radiant és el tipus de sistema de calefacció amb un consum més baix que el dels altres sistemes. I és el més eficient, ja que la calor es manté durant més temps i les temperatures necessàries per escalfar tota la llar són més baixes. Es pot arribar a estalviar fins a un 20-10% si es compara amb el sistema de calefacció convencional [3].

Segons diferents estudis, se sap que més de la meitat de l'energia consumida en edificis d'habitatges és deguda a la climatització i un 70% per la calefacció, l'aigua corrent sanitària i la refrigeració. Els climatitzadors consumeixen molta energia elèctrica, la qual cosa genera més emissions de CO₂ a l'atmosfera, agreujant l'escalfament global per l'ús dels combustibles fòssils en la generació de l'electricitat consumida. En conseqüència, es contribueix directament a l'augment de l'efecte hivernacle.

Concretament, les llars espanyoles consumeixen aproximadament 5.172 kWh en calefacció i 170 kWh en aire condicionat a l'any, emeten una mitjana de 0,64 kilograms de CO₂, segons l'IDAE (Institut per la diversificació i estalvi de l'energia), en un estudi realitzat l'any 2019. En l'estudi també s'estableix que la calefacció representa com a mitjana el 47% del consum total d'energia dins una llar i la producció d'aigua calenta sanitària el 18,9%. Addicionalment,

l'estudi fa evident que aquests valors van augmentant considerablement entre dècades [4 ,5, 6 ,8].

En un aspecte més global, en la Unió Europea, avui en dia el 28% del total de l'energia consumida és utilitzada per escalfar espais i aigua en edificis. En el sector residencial, el 75% d'aquesta energia prové de combustibles fòssils com el gas [8].

Consegüentment, es pot observar que el sistema de terra radiant és un molt bon aliat contra l'escalfament global. Per tal de complir els objectius europeus del 2030 en matèria de reducció d'emissions i garantir una transició energètica efectiva, és imprescindible adoptar sistemes de calefacció més eficients, com és el terra radiant i l'ACS (calderes de calefacció i aigua calenta sanitària) amb l'objectiu de reduir la petjada ecològica de les llars [2].

Segons un estudi de *Coolproductes* (coalició europea que forma part Ecodes), per tal d'assolir la neutralitat climàtica, les calderes de gas i gasoil han de desaparèixer d'aquí a cinc anys. Segons l'estudi, la seva eliminació preveu l'estalvi aproximadament de 110 milions de tones d'emissions de CO₂ en Europa pel 2050, en els edificis residencials i públics. Per tant, si es deixen d'instal·lar noves calderes de gas i gasoil, i idealment s'opta per un sistema de terra radiant, en la Unió Europea (UE) a partir del 2025, es pot arribar a estalviar un total de 30Mt d'emissions anuals de CO₂ pel 2030, 90 Mt pel 2040 i 110Mt per 2050 [8].

És essencial prendre consciència de la necessitat de reduir les emissions de CO₂ que provenen de les llars, les quals estan començant a superar les emissions dels cotxes. I començar a implementar models de construcció de consum quasi nul, sigui en edificacions noves o en rehabilitacions d'edificis antics. Creant així un disseny arquitectònic bioclimàtic de la llar anomenat casa passiva, que segons la construcció permet l'estalvi energètic de fins al 90% [9].

Es pot observar en la següent figura 3.1.1.1 que, segons un estudi de INE (Institut Nacional d'Estadística), les llars són la segona activitat més contaminant detectada durant l'any 2021. També s'observa que les emissions de CO₂ de les llars han disminuït respecte l'any 2008. Tot i així, han passat de ser la tercera activitat més contaminant al 2008, a ser la segona al 2021.

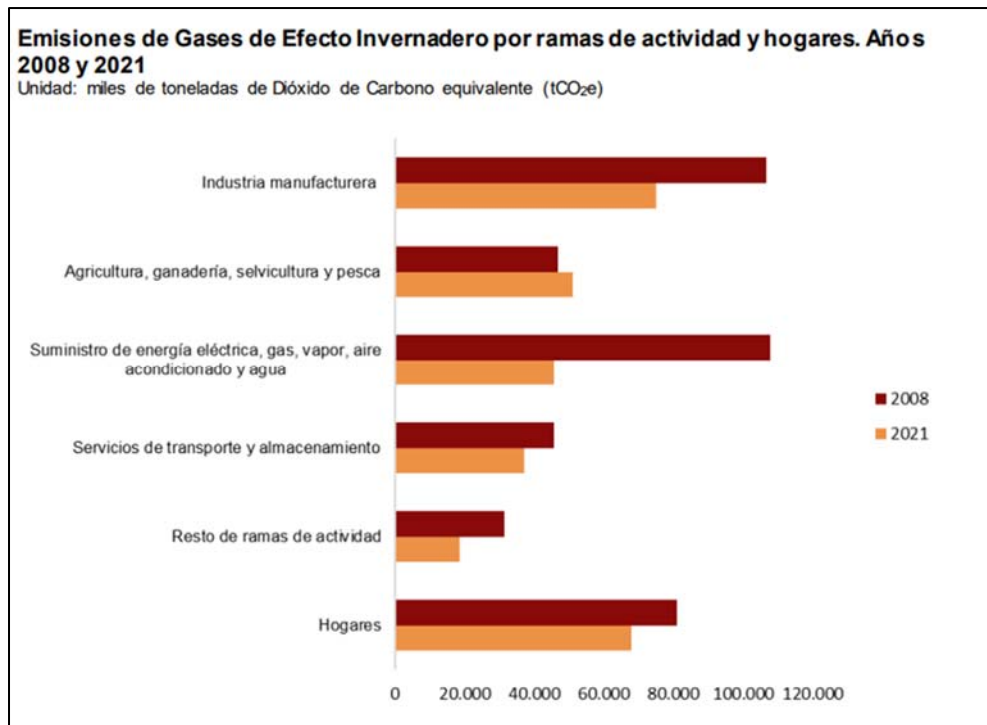


Figura 3.1.1.1. Estadística de les emissions de l'Efecte Hivernacle en els anys 2008 i 2021. Es pot observar com contribueix la llar a aquesta contaminació [10].

3.1.2. Microcontroladors

El nucli de la placa de connexions d'aquest projecte és el microcontrolador. A continuació, es detalla la diferència entre un microcontrolador i un microprocessador.

Un microprocessador efectua operacions lògic-aritmètiques. No té entrades ni sortides com si disposa un microcontrolador. I per al seu funcionament necessita perifèrics addicionals, memòries o controladors de bus. Ara bé, són més ràpids que un microcontrolador. Tenen una velocitat de processament més alta [11].

En canvi, els microcontroladors són circuits integrats compostos per sortides i entrades, memòria i unitats lògic-aritmètiques. Un element complet i funcional que permet efectuar operacions digitals. Són més lents que un microprocessador, degut a que realitzen menys instruccions per segon [11].

El projecte que es pretén desenvolupar se centra en els microcontroladors per la necessitat de controlar les entrades i sortides d'un sistema amb l'objectiu d'aconseguir més eficiència en el seu ús.

Un microcontrolador és un circuit integrat digital programable, format per una unitat central (CPU), memòries (ROM, memòria de només lectura i RAM, memòria d'accés aleatori) i línies d'entrada i sortida (anomenats perifèrics). Fent així d'aquest, un dispositiu molt versàtil i útil per diferents aplicacions [12]. Aquest projecte se centra en el control i digitalització dels circuits de la placa de connexions.

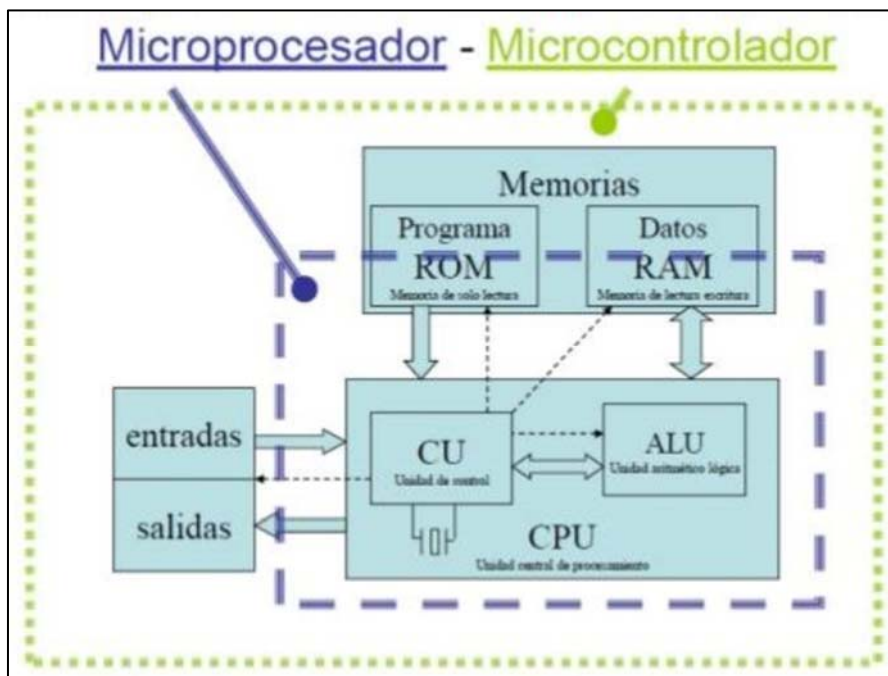


Figura 3.1.2.1. Estructura d'un microcontrolador i microprocessador, on es distingeixen els diferents subsistemes de cadascun [13]

El funcionament d'un microcontrolador es controla a partir de programari on s'indiquen les instruccions a executar. Tal i com es mostra en la figura 3.1.2.1, la memòria del sistema emmagatzema els programes i la CPU processa cada instrucció. El llenguatge que es fa servir per a la programació és l'assemblador i el C, però abans de gravar el programari s'ha de compilar a hexadecimal que és el sistema de codificació que entén el microcontrolador [12].

Per poder conèixer la velocitat d'execució i la capacitat màxima de bits que pot gestionar un microcontrolador en un cicle, es comprova la mida de la memòria de registres disponible a la CPU per emmagatzemar dades.

Amb l'objectiu d'escollir el microcontrolador òptim per al projecte s'han de tenir en compte diverses característiques i especificacions.

La primera especificació a considerar són les interfícies externes de maquinari i quines són necessàries que suporti el microcontrolador. Generalment, hi ha dos tipus d'interfícies. Les de comunicació amb perifèrics com USB, I2C, SPI, UART o *Ethernet*. Aquestes han de ser considerades, ja que poden afectar a la quantitat d'espai que el programa del microcontrolador ha de suportar. I en segon lloc, les interfícies de tipus sortides i entrades digitals, entrades analògiques a digitals, PWM, entre d'altres, que determinen el nombre de pins que necessita el microcontrolador [14].

Una altra característica a tenir en compte és l'arquitectura del programari, que fa referència a l'estructura i a la relació entre les diferents parts del programari, així com a les propietats externes visibles. La complexitat dels requisits de processament determina la freqüència del microcontrolador i la potència de càlcul necessària.

En aquest sentit, s'ha de tenir en compte si es requereixen operacions amb valors de coma flotant o si hi ha bucles o sensors de control d'alta freqüència. És important calcular quant de temps i amb quina freqüència s'ha d'executar cada tasca. I valorar el número de bits que ha d'oferir el microcontrolador, sobretot tenint en compte futurs requisits que puguin aparèixer. Un microcontrolador de x bits indica la quantitat de bits de dades que pot processar en un moment donat, indicant la mida dels registres, la quantitat d'adreces de memòria i els números més grans que es poden processar. Si el microcontrolador és de 8 bits, pot processar del 0 a 255 bits [14]. El número de bits que un microcontrolador pot processar és molt important. En les operacions aritmètiques, un microcontrolador (UC) de 32 bits, pot fer més operacions que un de 8 bits. A més a més de tenir una velocitat superior de processament [15].

Una altra de les característiques rellevants a tenir en compte està relacionada amb les necessitats de memòria. Aquesta és una característica decisiva per assegurar una capacitat de memòria suficient per al bon funcionament. Mitjançant l'arquitectura del programari i els perifèrics de

comunicació inclosos en l'aplicació, es pot estimar la quantitat de flaix i memòria RAM que es necessiten per a l'aplicació. Cal tenir cura de deixar un marge per possibles ampliacions futures [14]. Tanmateix, és necessari escollir un bon programa que inclogui un compilador i un circuit establert per gravar les instruccions del programa al microcontrolador [12].

Un cop analitzades les característiques del microcontrolador, és necessari procedir a realitzar un estudi dels diferents microcontroladors que es poden trobar en el mercat. S'analitzen els diferents fabricants de microcontroladors i a partir de les especificacions que es detallen s'escull l'òptim. Sobretot cal tenir en compte els costos i els requisits de potència de cada microcontrolador [14].

Hi ha diverses empreses que fabriquen microcontroladors. *Microchip Technology*, és una de les empreses líders i els seus microcontroladors s'anomenen PIC. S'ofereixen a un preu assequible, són eficients i és fàcil obtenir un *kit* de desenvolupament. També existeix l'empresa *STMicroelectronics* que ofereix la família dels microcontroladors STM. I *Atmel* que és una altra empresa líder que ha creat microcontroladors que serveixen com a base per a la plataforma *Arduino*. Aquestes empreses són un exemple d'entre moltes altres companyies que ofereixen diferents microcontroladors amb diferents potències, memòries, i altres característiques [12].

3.1.3. Expressions tècniques de terra radiant i PCB

En aquest apartat s'expliquen les diferents terminologies que es fan servir habitualment en el sector del terra radiant i les plaques de circuits impresos (PCB) en general.

Les PCB són un suport físic per components electrònics que permeten establir una connexió entre ells, i crear diferents circuits electrònics amb diferents objectius. Estan formades per diverses capes conductores separades per diferents materials aïllants [16].

Les PCB consten de tres parts principals. La primera part és el material base compost per una làmina rígida o flexible que pot ser de diferents materials. La segona part és la làmina conductora, que és de coure electrolític. I finalment, la tercera part és l'adhesiu. Aquest no ha d'alterar la placa base i no permet que les làmines de coure i el material base es desenganxin [16].

Hi ha diferents tipus de PCB, depenent de les capes amb les que està constituïda:

- Per una banda, hi ha l'anomenada Placa d'una cara o SSB (*Single-Sided Board*). És una placa que té dues superfícies, una cara de components i una altra de pistes (soldadura).
- Per altra banda, hi ha les conegudes com a plaques de doble cara o DSB (*Double-Sides Boards*), que permeten traçar pistes en les dues cares.
- I addicionalment, quan augmenta la quantitat de components a posar i, per tant, la necessitat del número de pistes que pot haver-hi a les dues cares, existeix un altre tipus anomenat Multicapa o MLB (*Multilayer Board*), que conté diferents capes compostes per una làmina de coure, material base i adhesiu, una sobre l'altre.

D'altra banda, els conceptes més usats en les PCB, són els que es descriuen a continuació [16]:

- *Pistes/Nets*: permeten la connexió entre dos components. L'amplada de les pistes es determina a partir de la temperatura i el corrent que hi passa.
- *Pad*: és la zona que fa de contacte entre la PCB i un *pin* d'algun component. Hi ha de dos tipus, *through-hole*, que és un forat, i SMD (*Surface Mounting Device*), que és una àrea rectangular de coure en la superfície de la PCB.
- *Nodes tèrmics*: permeten la connexió de positiu i negatiu de qualsevol capa dels plans d'alimentació i massa.
- *Drills*: estan destinats a la inserció de components *through-hole*. I algun altre forat addicional per subjectar la placa.
- *Vies*: són *drills* metal·litzats que estableixen una connexió elèctrica entre diferents capes. Hi ha vies passants, que connecten les dues capes externes, les vies enterrades, que uneixen pistes de capes internes, i finalment, les vies cegues quan es connecten vies externes amb internes.
- *Layer*: són capes de disseny.
- *Esquemàtic*: és la representació de les interconnexions dels diferents circuits que conté la PCB.
- *Boardfile*: és l'arxiu on es realitza el disseny físic de la targeta, i el disseny d'aquesta s'anomena *layout*.
- *Footprint*: és el disseny dels *pads* d'un component particular.
- *BOM*: és el llistat de components d'una PCB.
- *Gerber*: és el fitxer estàndard en la indústria de l'electrònica per comunicar el disseny d'una PCB a un fabricant.

- **PCBA: Printed Circuit Board and Assembly.** El concepte s'usa quan es fabrica una PCB i a més es fa l'assemblatge dels components.

A continuació, s'especifiquen els termes més usats en la gestió del terra radiant. Són conceptes dels que s'han de tenir coneixements perquè s'incorporen a la placa:

- **Termòstats:** és un component de control simple que obre o tanca un circuit elèctric en funció de la temperatura.
- **Higròstats:** és un component que mesura i regula la humitat en l'interior d'un edifici.
- **Caudals:** és la quantitat d'aigua que flueix pel terra radiant.
- **Fancoils:** és un sistema de climatització adaptable a la bomba de calor o aerotèrmia, que calenta o refreda l'ambient. Actua com l'aire condicionat.
- **Actuadors:** són uns dispositius elèctrics de condicionament de les vàlvules que controlen la circulació hidràulica dels circuits de canonades del sistema de terra radiant [17].
- **Bombes de circulació:** són els dispositius que permeten que l'aigua estigui en continuu moviment i llesta pel seu ús en tot moment [18].
- **Vàlvula de zona de tres vies o mescladora de tres vies:** és una vàlvula que distribueix correctament els fluxos de calor i ajusta la temperatura de l'aigua de calefacció per adaptar-se als requisits de control [19].
- **ACS:** terme que dona nom a l'aigua calenta sanitària, i aquesta és l'aigua destinada al consum humà que ha estat escalfada, i s'utilitza en dutxes banys, cuines, entre d'altres [20].
- **Bombes de calor:** són intercanviadors de calor, que extreuen la calor de l'aire i el traslladen a l'aigua que circula dins del sistema intern de l'habitatge.
- **Aerotèrmia:** són bombes de calor que extreuen l'energia ambiental de l'aire a partir d'un cicle termodinàmic per aportar calefacció i refrigeració, a més a més, d'aigua calenta. [21]
- **Geotèrmia:** és un dispositiu capaç de generar calor i fred, a partir d'extreure l'energia calorífica (en forma de temperatura) del sòl o l'aigua [22].
- **Inèrcia tèrmica:** és la propietat que indica la quantitat de calor que pot conservar un cos i la velocitat amb la qual la cedeix o absorbeix [23].
- **Unitat de control:** és l'element que assegura el manteniment d'una temperatura el més constant possible per evitar variacions brusques de temperatura en les estances i així

evitar que el sistema hagi de recuperar temperatura. El seu objectiu és evitar l'increment de consum energètic [24].

- Energia calorífica: és l'energia responsable de la temperatura d'un sistema [25].

3.2. Marc contextual

3.2.1. Història dels sistema de calefacció per sòl radiant

L'aparició de l'idea de sòl radiant té lloc en èpoques molt antigues, de fa milers d'anys, en el període neolític, l'edat de bronze i l'edat de ferro. A Àsia i en les illes Aleutianes d'Alaska, s'han realitzat excavacions arqueològiques i estudis que han revelat una antiga tècnica d'aplicació de calor usant terra aixecat format per argila cuita o maons estesos en un terç o la meitat d'una habitació. Aquest sistema permetia passar el fum provinent d'un foc principal a través d'aquest terra elevat. El fum que passava en un estat calent, escalfava l'argila i/o els maons del terra, i la calor es distribuïa als diferents espais de les cases. Aquest sistema podia retenir el calor durant una nit, sense la necessitat de tenir el foc encès, i l'anomenaven "kang" i "dikang" depenen del lloc de procedència. Aquesta tècnica proporcionava un sistema de calefacció rudimentari i eficient per a l'escalfament dels habitatges [26,27].

Entre els anys 5000 aC i 1000 aC, aquests sistemes es van anar refinant, donant lloc al "ondol" originari de Corea, que es mostra en la figura 3.2.1.1. Aquest sistema estava integrat en l'estructura de l'habitatge. Consistia en un terra de mamposteria que es recolzava sobre unes grans pedres per a una millor retenció del calor. El fum generat pel foc principal era conduït i sortia a través d'unes xemeneies [26].

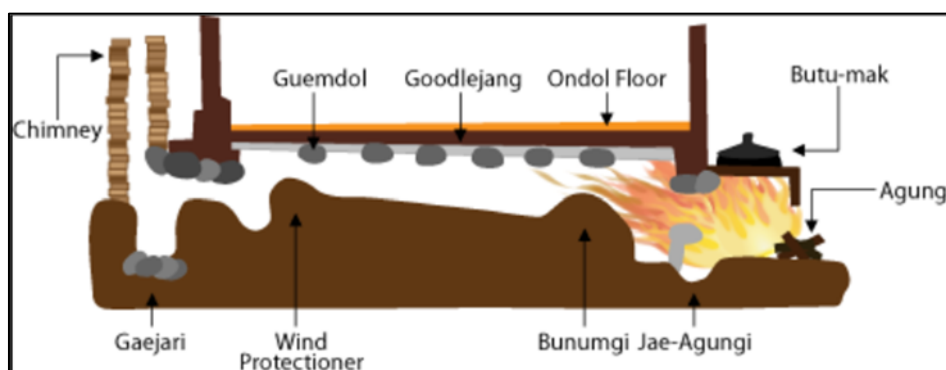


Figura 3.2.1.1. Funcionament d'un "ondol" Corea [28]

D'altra banda, a Occident, la implementació dels terres radiants va aparèixer durant l'època romana. El sistema utilitzat l'anomenàvem "*hipocaust*" i es mostra en la figura 3.2.1.2. Aquest sistema es creu que va ser desenvolupat per un enginyer romà conegut com a *Sergius Orata*. A partir del 80aC els edificis públics romans van començar a incorporar aquest sistema de terra pel qual hi circulava aire calent també provinent de focs externs [26]. Va ser àmpliament conegut degut al seu ús en els banys públics romans, a més a més de ser un dels primers en funcionar com una calefacció central. Malgrat el seu bon funcionament per aquella època, quan l'Imperi Romà va caure, aquest sistema va desaparèixer del continent europeu. Reapareixent en la península Ibèrica en el període de l'Al-Andalus amb la construcció dels banys musulmans, que mantenien la mateixa estructura.

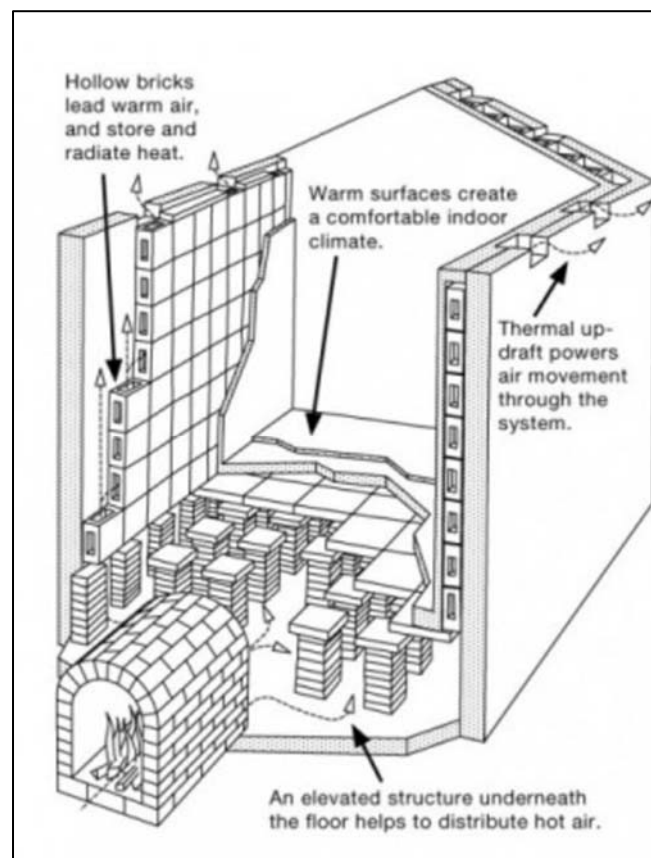


Figura 3.2.1.2. Exemple de com funciona un "*hipocaust*" [29]

Actualment, el sistema de calefacció de terra radiant és un sector que està experimentant un creixement significatiu. Es considera un dels sistemes de calefacció més còmodes i de major eficiència energètica disponibles en el mercat. Conjuntament amb les solucions de control de temperatura basades en sistemes que usen tècniques i mètodes HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*) es pot gaudir de calefacció i refrigeració simultàniament. A més a més, es poden integrar fonts d'energies netes i reduir el

consum global. Per tant, a més d'aportar una gran eficiència, també ofereixen un baix consum la qual cosa és molt interessant i valorada pels consumidors.

El terra radiant és un sistema que permet variar la temperatura d'una llar a partir d'una xarxa de tubs distribuïts uniformement sota el sòl, per on circula aigua, calenta o freda depenent si s'escull mode calefacció o refrigeració. Així el terra es transforma en un gran emissor tèrmic que funciona de forma homogènia i confortable durant l'hivern i l'estiu [30].

Els sistemes de terra radiant consten de dues parts, el circuit primari on es troba la generació, emmagatzematge i distribució de l'aigua que el terra radiant escalfa o refrigera i, per un altre costat, el circuit secundari format pels elements de control i interacció amb l'usuari. Aquests dos circuits es poden observar en la figura 3.1.2.3. És en aquest segon circuit on es troba el nucli del control del sistema, les centrals de connexions, és a dir, la PCB i el microcontrolador.

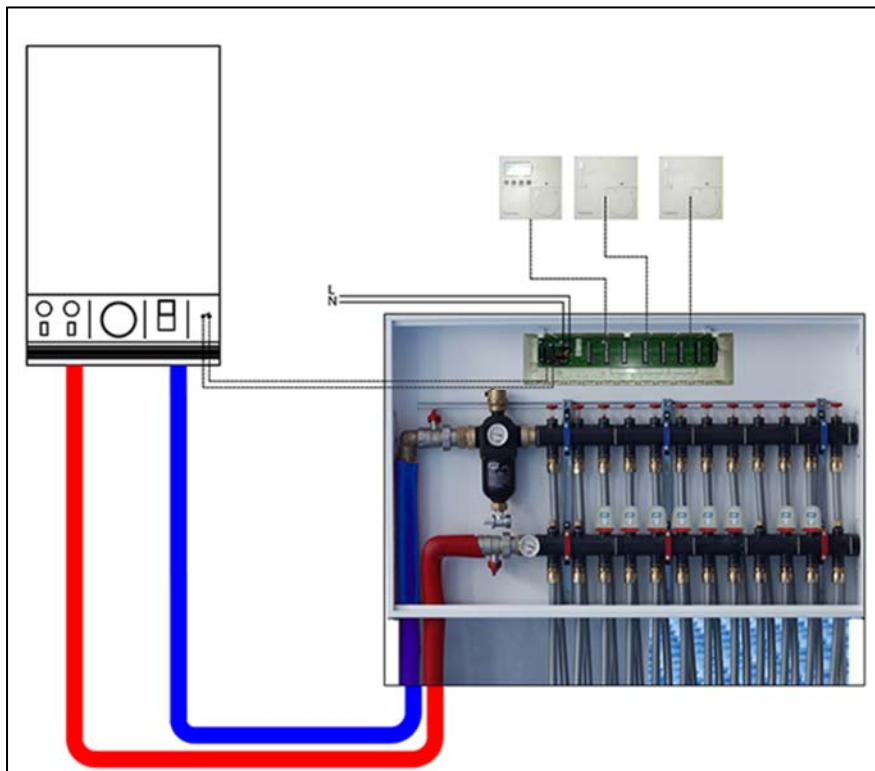


Figura 3.1.2.3. Connexió d'una central de regulació del sistema radiant. [31]

Actualment, es poden diferenciar dos tipus de sistemes de terra radiant, l'elèctric i per aigua calenta. El que es pretén treballar i controlar en aquest projecte són els sistemes de terra radiant per aigua que avui en dia són els sistemes més àmpliament usats de terra radiant. Per escalfar aigua es poden usar diversos sistemes com pot ser una caldera, bombes de calor, energia solar tèrmica o bé geotèrmia, proporcionant així un sistema de calefacció molt

confortable i de baix consum. En els annexos es poden consultar els sistemes reals sobre els quals es treballa, annex VIII.

3.2.2. Avantatges i inconvenients del sistema de terra radiant respecte el sistema de calefacció per radiadors

Actualment per climatitzar les nostres llars, en la majoria de cases es fa ús dels sistemes per radiadors que usen l'electricitat o gas com energia. A continuació, es detallen els avantatges i desavantatges del terra radiant respecte a l'ús dels radiadors.

En primer lloc, la distribució de la calor en els sistemes de terra radiant és completament uniforme. En canvi, els sistemes per radiadors escalfen l'entorn i l'aire per punts, provocant que hi hagin llocs més calents i d'altres més freds.

En segon lloc, referent a l'estètica que proporcionen els sistemes. Els radiadors estan a la vista i a vegades poden arribar a molestar, en canvi, els sistemes de terra radiant no són visibles i no ocupen espai.

En contra partida la instal·lació dels sistemes de terra radiant són més costosos per la instal·lació dels tubs sota el terra i la integració amb el sistema de control que fa que tinguin un cost inicialment més elevat que el muntatge d'altres sistemes [31].

I per últim, es posa en evidència que els sistemes de terra radiant no s'adapten bé als canvis bruscos de temperatura a causa de la seva elevada inèrcia tèrmica. Els sistemes per terra radiant necessiten temps per escalfar o refredar una llar. I consegüentment, la velocitat per escalfar o refredar és lenta. En canvi, la majoria de condicionaments tèrmics, com els sistemes de radiadors, en tenen poca i s'adapten ràpidament a la temperatura desitjada.

3.3. Marc normatiu

En aquest apartat es tracten les diferents normatives a tenir en compte per tal de poder comercialitzar i usar el producte en la Unió Europea i a nivell mundial.

Per tal de dissenyar una PCB d'alta qualitat, amb la ubicació apropiada dels components i l'adequat traç de les pistes s'han de respectar les normatives i normes de disseny. Per exemple, s'ha de tenir en compte la distància entre les pistes i el gruix d'aquestes segons la tensió i el corrent a suportar. Les normes *IPC*, són les que s'apliquen a les plaques de circuits impresos.

En concret són les anomenades *IPC 2220*, i són:

- *2221B*, aquesta norma és genèrica sobre el disseny d'un circuit imprès. La versió més recent és l'*IPC 2221*.
- *2222A*, és l'estàndard de disseny seccionat per plaques orgàniques rígides.
- *2223D*, és l'estàndard de disseny seccionat per plaques impreses flexibles i rígides-flexibles.
- *2224*, és l'estàndard per PCB de PC.
- *2225*, és l'estàndard de disseny seccionat per mòduls orgànics multixip (MCM-L).
- *2226*, és l'estàndard de disseny seccionat per plaques d'interconnexió d'alta densitat (HDI).

La norma *IPC-2221* descriu les especificacions generals pel disseny d'un circuit imprès i aspectes d'assemblatge de targetes electròniques. La norma estableix principis i també recomanacions, incloent-hi muntatges o assemblatge dels components, THT (*Thorough-Hole Technology*), de forats passants, i de superfície SMT (*Surface Mounting Technology*). Sovint s'utilitza tenint en compte la norma *7351*, la qual tracta sobre els requisits genèrics per al disseny de muntatge de la superfície. L'estàndard del patró de terra més usat pels fabricants, és l'*IPC T50*, que detalla els termes i definicions per la interconnexió i l'embalatge de circuits electrònics. D'altra banda, la norma *IPC D325*, tracta sobre els requisits de documentació per taulers impresos, muntatges i dibuix de suport, i l'*IPC 610*, sobre l'acceptació d'assemblatges [32].

Adicionalment, si es treballa amb un disseny de PCB d'alta freqüència s'utilitza la norma *IPC 2251*, o bé s'optimitza el disseny amb les recomanacions de disseny descrits a la norma *IPC 2231*.

A més a més, també es poden trobar certes recomanacions dels fabricants de les PCB per tal, de fer encara més normalitzat i comprensible el seu disseny. A continuació es detallen les indicacions més importants:

- Com a recomanació general es suggereix deixar un espai d'almenys 0,5mm entre components. Per tant, la superposició de components no és recomanable, encara que la distància depèn del tipus d'encapsulat. A més, s'ha de deixar una distància mínima de 2mm entre cada component i el costat de la PCB, per tal que aquesta pugui ser subjectada a les taules de muntatge.
- Els connectors s'han de connectar en els extrems de la placa per tal de facilitar la seva connexió. La distribució dels components ha de ser senzilla, col·locant-los en paral·lel als extrems de la placa, sigui en vertical o horitzontal. Encaminant-los en un mateix sentit, si formen part del mateix grup del circuit.
- Els circuits integrats han de tenir la polaritat orientada en el mateix sentit, i la seva direcció longitudinal ha de coincidir amb la de la placa de connexions. Sempre han d'anar de forma ordenada i si és possible, equidistants. A més a més, els que siguin més ràpids se situen a prop del connector d'alimentació i el condensador de desacoblament se situa a la distància més curta que sigui possible de la pota d'alimentació.
- Tots els components de muntatge en la superfície (SMD) s'han de col·locar en el mateix costat de la placa, mentre que els components amb orificis passants, se situen en la part superior de la placa per simplificar el muntatge.
- També es recomana agrupar els components per funcions, separar les diferents àrees de la placa i mantenir els components allunyats de les fonts de calor.
- Les pistes han de ser horitzontals, verticals o han de formar angles de 45°.

A nivell normatiu, també es requereix garantir el compliment dels requisits de seguretat, sanitat i de protecció del medi ambient imposats per la normativa CE (Comunitat Europea), per tal de possibilitar la venda del futur producte dins la Unió Europea. Per poder col·locar el marcatge CE a les PCB no es necessita cap llicència, però s'ha d'assegurar la conformitat del producte amb tots els requisits pertinents a nivell de la UE. Es pot determinar si s'avalua per garantir la conformitat del producte dins la mateixa empresa o bé ho fa un organisme extern. També cal preparar un expedient tècnic que documenti la conformitat del producte. Aquest s'ha de col·locar de forma visible, llegible i no esborrable a la PCB [33].

Per concloure aquest apartat, es citen algunes de les normes actuals respecte al terra radiant, a la Unió Europea i concretament a Espanya.

A nivell d'Espanya, s'observa que hi ha diverses normatives que busquen ser coherents amb les preocupacions envers el medi ambient. Actualment s'estan adaptant els requisits en el sector energètic i cada vegada són més exigents en aquest aspecte. Cal seguir el *Codi Tècnic de l'Edificació* (CTE), el qual estableix les exigències bàsiques de qualitat que han de complir els edificis. I més concretament, el que es fixa en l'estalvi energètic [32,33].

El *Reial Decret 732/2019*, publicat el desembre de 2019, va modificar el CTE fent èmfasi, en l'estalvi energètic. L'última modificació del CTE es va realitzar a través del *Reial Decret 450/2022*, el qual introdueix noves exigències de qualitat en les edificacions a nivell arquitectònic [35].

A més, cal tenir en compte el *Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en Edificis* (RITE), el qual va ser modificat pel *Reial Decret 1027/2007* per adaptar-se a les noves normatives, i ajustar-se als requisits d'eficiència energètica i seguretat que han de complir les instal·lacions tèrmiques dels edificis [35,36]. Aquest Reial Decret ha sofert diverses modificacions, com ara el *Reial Decret 238/2013*, que va canviar alguns articles i instruccions tècniques per a complir amb la directiva *2010/31/UE*, relativa a l'eficiència energètica dels edificis. També es va alterar pel *Reial Decret 178/2021*, on s'aprova el RITE en compliment de la directiva de la Unió Europea *2018/844* que modifica tant la directiva *2010/31/UE* relativa a l'eficiència energètica dels edificis, com la directiva *2012/27/UE* relativa a l'eficiència energètica [36].

4. Estat de l'art

La climatització és un aspecte que causa preocupació a nivell mundial pel seu ús excessiu i poc eficient que afecta de forma negativa al medi ambient, contribuint d'aquesta forma al canvi climàtic i a l'augment de la temperatura global. L'ús de sistemes de climatització augmenta el consum de l'energia que impacta en l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, responsables principals del canvi climàtic. Per reduir l'impacte mediambiental causat pels sistemes de climatització, és molt important millorar la seva eficiència energètica. Per aquesta raó, els sistemes de terra radiant juntament amb l'ús de l'aerotermia i/o bombes de calor es consideren una alternativa atractiva com a sistema de climatització dels habitatges. Aquestes sistemes ofereixen un sistema de calefacció més eficient en termes energètics pel seu baix consum [37].

Aquestes instal·lacions basades en el terra radiant estan formades per dues parts, un circuit primari on es troba la generació, emmagatzematge i distribució de l'aigua que fa que escalfi o refrigeri l'estança a partir del terra radiant. I per l'altre costat, el circuit secundari on estan els elements de control i interacció amb l'usuari. El projecte es basa en aquesta última part, en les centrals de connexions.

Les centrals de connexions actuen com a cervell del sistema, permetent una regulació precisa de la temperatura i del control dels circuits del sistema. La PCB, rep informació dels sensors de temperatura i altres dispositius d'entrada segons sigui necessari, i utilitza algorismes de control per ajustar la calor o el fred desitjats per l'usuari.

D'aquesta manera, es pot garantir un ambient confortable i una eficiència energètica òptima. No obstant, també presenta certs desavantatges, com el cost inicial i el temps que triga en escalfar una habitació. Segons un estudi de *Climatek*, el temps necessari per escalfar una àrea d'una casa depèn de la proximitat d'aquesta a la bomba d'impulsió, entre altres factors, com poden ser els materials utilitzats. Això implica que l'estança més llunyana pot trigar de 8 a 12 hores per arribar a la temperatura desitjada, mentre que per la més propera es pot reduir el temps a 2 o 3 hores. És important tenir en compte en tot moment la grandària de la casa. Tot i així, un cop s'ha arribat a la temperatura desitjada, aquesta es manté de manera més estable i hi ha menys diferències de temperatures [38].

En l'actualitat hi ha hagut grans avenços en l'àrea de l'electrònica amb el disseny i construcció de sistemes cada vegada més automatitzats i eficients [39]. Per tant, com és d'esperar, les centrals de connexions electròniques que regularitzen la climatització per terra radiant també han evolucionat. En les seves primeres etapes, les unitats de control es basaven en circuits analògics simples i amb controls manuals. Actualment, s'han desenvolupant solucions digitals més sofisticades que ofereixen més capacitat de programació i precisió. A més, permeten la incorporació de funcions addicionals com la integració de sistemes de gestió energètica i la connectivitat inalàmbrica.

Actualment, el mercat ofereix una gran varietat de models de plaques de control de la climatització per terra radiant, amb una extensa gamma de funcionalitats i característiques. Tots els models de plaques tenen el mateix propòsit, fer de pont entre els controladors i els actuadors per regular la temperatura i el funcionament de la instal·lació. Cal dir però, que existeixen alguns models més simples que només estableixen la connexió entre els dispositius, i d'altres més sofisticats que s'apropen a sistemes de domòtica.

Les centrals electròniques poden ser tant complexes i amb tantes funcionalitats com es desitgi, atès que els sistemes de climatització per terra radiant estan constituïts per diferents components i dispositius que poden ser controlats de forma centralitzada. Els termòstats en són un exemple. Poden tenir funcionaments molt simples i d'altres més digitalitzats i amb funcions de comunicació a dispositius intel·ligents. Un altre exemple són els actuadors, que també se'n troben un ampli ventall, com les bombes d'impulsió i les vàlvules de tres vies, entre altres. Per extreure el major potencial possible al producte s'ha de proporcionar el correcte equilibri entre qualitat, preu i funcionalitats, ja que la proporció entre quantitat de funcionalitats de les centrals és proporcional al cost que tenen.

Es distingeixen dues gammes de centrals electròniques. Una d'elles és la més simple amb un cost menor que permet introduir els sistemes de climatització a projectes amb gran quantitat d'habitatges o oficines. Altrament, es troben les més sofisticades amb control via mòbil i intercomunicacions amb instal·lacions domòtiques. Aquestes últimes tenen un cost elevat i estan destinat a projectes individuals. L'avantatge competitiu d'aquest projecte comparat amb les altres marques que ofereixen productes similars, és aproximar algunes funcionalitats de les

centrals d'alta gamma a un cost assequible per oferir unitats de control d'alta qualitat a projectes nous de pressupost baix.

S'ha realitzat un estudi sobre els diferents productes i centrals de regulació, amb els seus corresponents preus, que es poden trobar al mercat similars al producte d'aquest projecte, per proporcionar la millor alternativa. A continuació es detallen diferents empreses que ofereixen dispositius d'aquest tipus.

En primer lloc, l'empresa *Airzone*, situada a Màlaga, Espanya, ofereix diversos dispositius relacionats amb la climatització, i un d'ells és la unitat de control de terra radiant. Aquesta s'anomena "*Central de Sistema Airzone Acuazone (DI6)*" i la seva referència és "*AZDI6ACUAZONE*", visualitzada en la figura 4.1. Té un preu de venda al públic de 275€. No obstant, s'ha de tenir en compte que aquest és un producte modular, i per executar totes les funcions que es volen oferir amb el prototip en desenvolupament en aquest projecte s'hi han d'afegir altres elements. Entre els que es destaca, la passarel·la de control *Airzone-fancoil 0-10V*, el mòdul de control d'elements radiants *Airzone 32 zones* i la passarel·la *d'aerotèrmia Airzone* [40].



Figura 4.1. PCB de l'empresa *Airzone* amb la referència del producte "*AZDI6ACUAZONE*" [40]

La mateixa empresa ofereix altres productes similars. Un d'ells és la central *AZRA6RADIANT*, que també proporciona unes funcions properes a l'objectiu del projecte i que es volen arribar a aconseguir amb l'ús d'un microcontrolador. Aquesta central destaca per oferir el control de la inèrcia tèrmica del terra radiant. Però, com en l'altre cas, aquest és un mòdul i es requereixen

d'altres components per completar les funcions desitjades, com ara el capçal termostàtica cablejat *AZX6ACIVALC*, entre altres.

Per tant, tot i que el seu preu d'aquesta central és molt assequible, d'uns 88€, cal tenir en compte tots els components addicionals a afegir per aconseguir totes les funcionalitats que s'incorporen en a central de regulació d'aquest projecte [41]

En segon lloc, també es pot trobar en el mercat l'empresa *Seitron*, ubicada a Mussolente, Itàlia, que ofereix productes del sector de climatització similars al que es vol desenvolupar, amb referencia "*ALCD08M02*", amb un preu de venda al públic de 264€ [42,43]. La descripció d'aquest producte es pot veure en la figura 4.2.

ALCD08M02



**8 CHANNELS WIRING BOX
PUMP AND BOILER CONTROL 230V-24V**

Electronic control for floor heating systems, with 230V~ power supply. The control offers the possibility to connect up to 8 channels, with a thermostat (24V~) and up to 5 actuators (24V~) each. Pump output with fixed delay time of 2.5 minutes, boiler control output and input for an external clock for the activation of the section of the actuators and thermostats.

TECHNICAL FEATURES

Power supply	230V~ ±10% 50Hz
Power absorption	According to the loads rating
Illuminated switch	On/Off
IP protection	IP44
Pump output	230V~
Boiler interlock output	Voltage free contact
Thermostats/actuators outputs	24V~
Time prog. output (optional)	24V~
Contacts rating: Pump	5A@250V~ SPST
Contacts rating: Boiler interlock	5A@250V~ SPST
Maximum applicable load:	
Actuators and thermostats	1A each channel 2A total
Dimensions	H125 W320 D67mm

Figura 4.2. Unitat de control de l'empresa *Seitron*, referencia del producte "*ALCD08M02*"[44].

En tercer lloc, una altra empresa localitzada és *Uponor* de Madrid, Espanya. Aquesta ofereix serveis orientats a la climatització, aigua potable i infraestructures, entre altres. La unitat de control del terra radiant que ofereixen s'anomena "*Uponor Smatrix Base Pulse X-245 BUS 6X*", i amb un preu de venda al públic de 417,69€, tal i com s'indica en la figura 4.3 [44] Tot i així, aquest realitza les mateixes funcions que es compleixen en la central de regulacions d'aquest


projecte, però no a partir d' un microcontrolador, ni tampoc amb un funcionament optimitzat per aconseguir un consum d'energia més eficient.

Uponor Smatrix Base Pulse X-245 BUS 6X

- Unidad base esclava. Hasta 6 termostatos y 8 actuadores.
- Compatible con Uponor Smatrix Base Pulse X-245 Bus 6x.
- Protección: IP20.
- Color: blanco.

Consiste en:

- Uponor Smatrix Base X-245 Bus 6X.
- Guía rápida e instrucciones de seguridad.
- Material de montaje.



Código Uponor	l mm	w mm	d mm	uPoints	Uds. Caja	PVP/m. ud
1093017	340	110	55	300	1	PCE 417,69 €





Figura 4.3. Placa de connexions de l'empresa *Uponor*, anomenada "*Uponor Smatrix Base Pulse X-245 BUS6 6X*" [44]

En quart lloc, l'empresa *Möhlenhoff*, ubicada a Salzgitter, Alemanya, és fabricant especialitzat en dispositius de climatització, tals com els actuadors. El que es destaca és el producte que ofereixen anomenat "*OEM ALPHA direct Balance base station*" que és la unitat de control de la climatització per terra radiant. Aquesta té un preu de venda al públic de 259,95€ [45]. La descripció del producte es pot veure en la figura 4.4.

A POPULAR PRODUCT REMODELLED

**NEW - OEM ALPHA direct
Balance base station**

- TÜV-certified, automatic hydraulic balancing
- BAFA (the German Federal Office for Economic Affairs and Export Control) subsidies are possible and easy to apply for
- Cooling without heating-cooling thermostats possible
- Compatible with all standard thermostats and valve actuators
- Wired base station for room-by-room temperature control

Brochure

Figura 4.4. PCB de l'empresa *Möhlenhoff*, anomenada "*OEM ALPHA direct Balance base station*"

Finalment, l'empresa *Resideo*, ubicada a Texas, Estats Units, està especialitzada en tecnologia per les cases, la seva connectivitat i sistemes de seguretat. L'empresa ofereix solucions per millorar la comoditat, la seguretat i l'eficiència energètica dels habitatges. Ven diferents productes com els termòstats, sistemes de control de l'aire i de seguretat, entre altres. Un dels productes destacable i competitiu d'aquesta empresa que ofereix unes característiques similars a les funcions que presenta el producte d'aquest projecte és el *Honeywell Home HCC100* amb un preu de venda al públic de 383€ [47].

La descripció del producte es mostra en la figura 4.5.

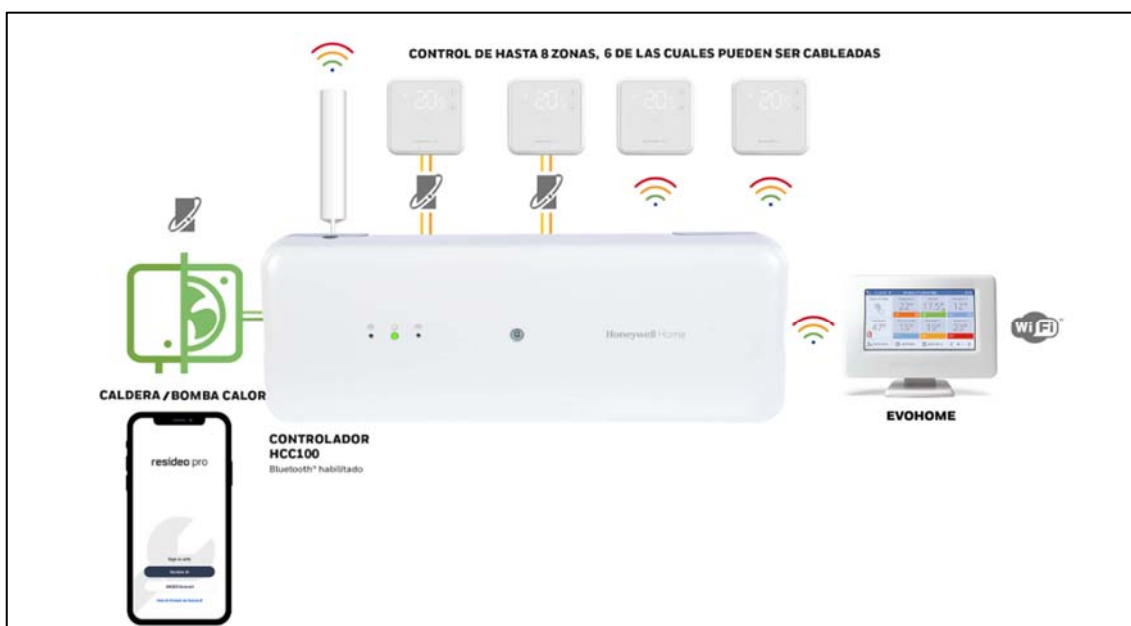


Figura 4.5. PCB de l'empresa *Resideo*, anomenada *Honeywell Home HCC100*[48].

Com es pot evidenciar respecte als microcontroladors esmentats, la majoria de les empreses no fan públic, ni mostren quin és o com ha estat configurat per tal d'evitar còpies i reproduccions no permeses. A més, es fa palès que les diferents centrals de regulació no ofereixen les mateixes funcionalitats. S'observa que algunes proporcionen més o menys entrades i sortides, i també segons els casos, es poden o no configurar per mòduls.

En relació a la investigació en aquest camp, la majoria d'estudis se centren en millorar la precisió del control, l'eficiència energètica i la interoperabilitat amb altres sistemes domòtics.

El projecte que es presenta se centra en els dos primers punts per tal d'optimitzar el rendiment global.

Recollint el més important, les centrals electròniques per al control del terra radiant es poden utilitzar en una àmplia gamma d'aplicacions, com poden ser habitatges residencials, edificis comercial i espais industrials. Diversos estudis han demostrat la seva efectivitat en termes d'estalvi energètic, confort tèrmic i reducció d'emissions de carbó [49].

El futur d'aquests sistemes implica la integració amb fonts d'energia renovable i l'optimització de diversos algorismes per millorar encara més la eficiència energètica, especialment en aspectes com és el confort dels usuaris. A més, també s'inclou el desenvolupament d'interfícies d'usuari intuïtives i la connectivitat amb sistemes de domòtica i control remot.

5. Solució tecnològica

Per tal d'entendre el funcionament del prototip i facilitar el seu disseny i desenvolupament, es mostra en la figura 5.1 un diagrama de blocs, des d'un punt de vista esquemàtic, de les funcions principals que disposa la placa processades pel microcontrolador. Així es pot identificar d'una forma fàcil com és el flux d'informació dins la placa de connexions.

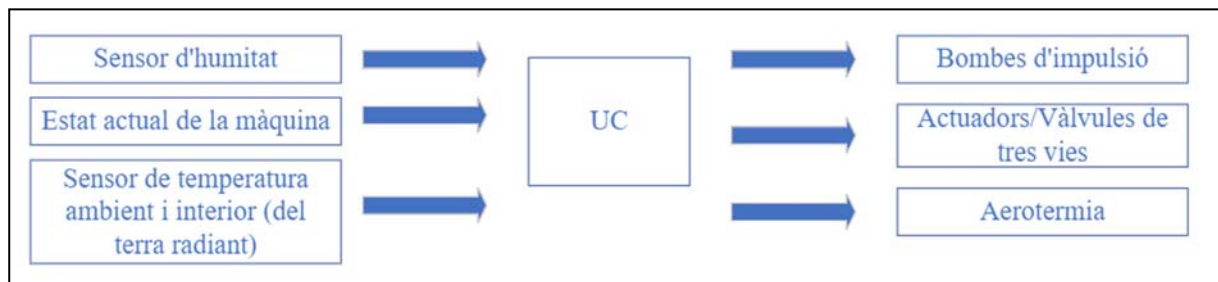


Figura 5.1. Diagrama de blocs de la placa de regulació del processament d'entrades i sortides del microcontrolador.

En aquest diagrama es poden veure les entrades i sortides del microcontrolador que formen part de les principals funcionalitats de la placa de regulacions. En la primera part s'observen les diferents entrades: el sensor d'humitat, l'estat actual en què està la màquina i el sensor de temperatura per mesurar la temperatura del terra radiant i de l'ambient. Les quals són totes analògiques. I un cop processades pel microcontrolador, es mostren les sortides que aquest activa. Aquestes són, els actuadors de bombes per controlar el cabal de l'aigua en el sistema de climatització, els actuadors de les vàlvules de calefacció per regular el flux de l'aigua del terra radiant i l'aerotermita. Les quals són totes digitals.

A continuació, es mostra un graf per conceptualitzar la idea del funcionament de la placa de connexió en general.

El graf es compren per tres parts que es mostren en els següents gràfics..

La primera part, tal i com es pot veure a la figura 5.2, comença en un estat del sistema de climatització apagat i els actuadors apagats. Quan es canvia d'estat, s'activa el sistema de climatització. I els termòstats estan preparats per adquirir senyals que més endavant poden transmetre al microcontrolador.

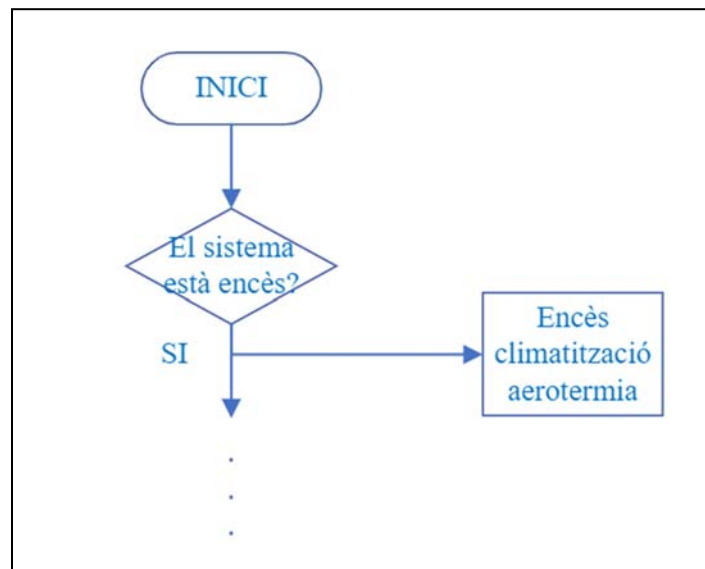


Figura 5.2. Graf del funcionament de la placa de regulacions, primera part.

En la segona part, mostrada a la figura 5.3, se selecciona el mode de funcionament del sistema, si és de calor o refrigeració. Es fa el canvi en el mode de funcionament de clima de l'aerotèrmia, si és calor o fred. Seguidament en els dos modes, se selecciona la temperatura consigna en l'habitatge, la qual pot controlar fins a quatre zones. I en el cas de mode fred, també es fixa quin és el percentatge d'humitat. A continuació, depenent de si la temperatura de consigna és major o menor al valor llegit pel microcontrolador, el qual a partir de la lògica aplica un funcionament o altre donant l'ordre d'activació de les diferents sortides.

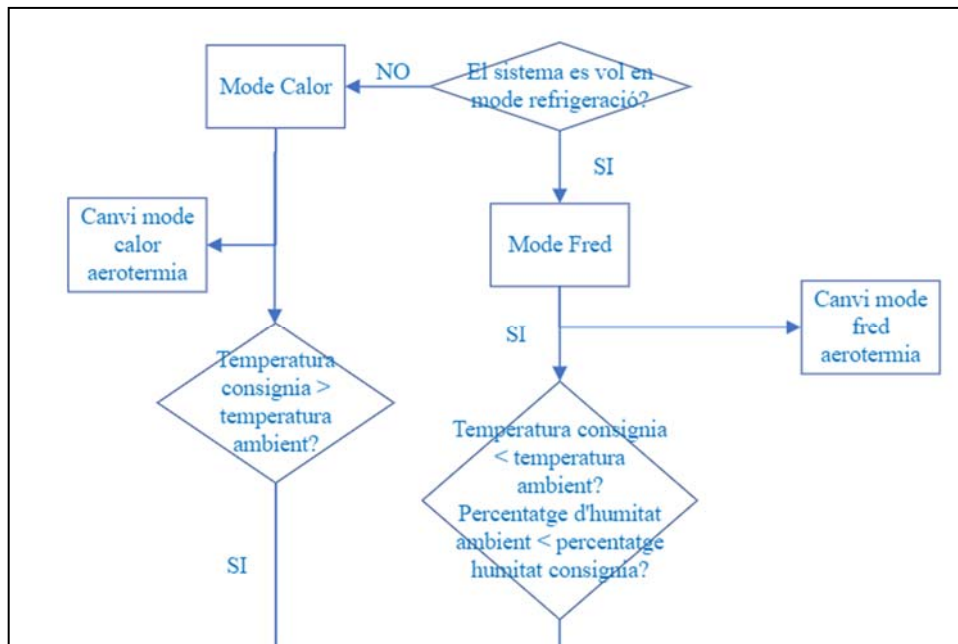


Figura 5.3. Graf del funcionament de la placa de regulacions, segona part.

Finalment, en la tercera part, mostrada a la figura 5.4, s'obren els actuadors, i al cap de tres minuts i mig, per tal que doni temps a obrir-les i que no hi hagi cap problema, s'activa el grup d'impulsió. El problema que pot ocasionar l'activació del grup de bombeig, prèvia a l'obertura completa de les vàlvules controlades pels actuadors, són sobrepressions al circuit i possibles mal funcionaments en les juntes i vàlvules.

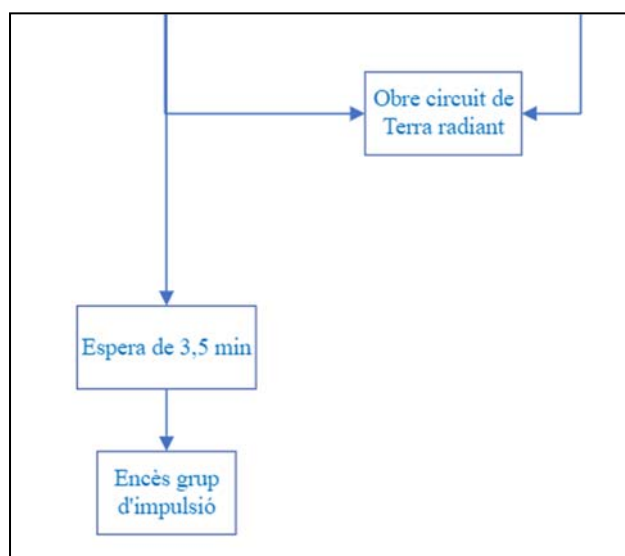


Figura 5.4. Graf del funcionament de la placa de regulacions, tercera part.

5.1. Metodologia

Per garantir l'èxit del projecte i maximitzar l'eficiència dels recursos, s'ha dividit el projecte en diferents etapes. Aquesta divisió permet assegurar una adequada temporització de les tasques previstes i un seguiment acurat de la seva execució.

En la primera etapa es realitza un estudi sobre el terra radiant que inclou una formació específica d'aquest i del seu funcionament. En aquesta fase s'estableixen els requisits i objectius concrets del projecte, definint i concretant l'objectiu final, on es vol arribar. A més, es realitza un estudi de les diferents opcions disponibles al mercat que ofereixen solucions a problemes similars.

A continuació, se selecciona el microcontrolador que millor s'adequa i que pot dur a terme totes les funcions i requisits del projecte tenint en compte les característiques tècniques d'aquest.

D'altra banda, es porta a terme el desenvolupament de la programació, sense oblidar la realització de proves exhaustives en un entorn el més proper a la realitat; per garantir un bon funcionament inicial d'adquisició i processament de les dades que rep i transmet. Per dur a terme aquesta etapa, s'ha utilitzat l'entorn de programació *STMCubeIDE*, una eina software dissenyada específicament per desenvolupar i crear projectes que treballen amb els microcontroladors de la família *STM32f4*.

L'entorn de programació *STMCubeIDE* és específic per a la programació de microcontroladors i ofereix un entorn amigable, amb diferents llibreries per facilitar la programació. Tot i així, ha estat necessària una formació prèvia de l'eina, d'unes trenta hores.

La següent etapa, ha consistit en dur a terme les diferents fases d'anàlisi i disseny dels circuits necessaris que no han estat implementats de forma digital al microcontrolador; determinant quins són els millors components a utilitzar. Per aquest pas, s'han tingut en compte diferents característiques, essent una d'elles l'impacte medioambiental.

Després, s'ha procedit a realitzar les simulacions del prototip complet per assegurar el seu bon funcionament. Una vegada s'ha comprovat el correcte funcionament, s'ha realitzat el disseny de la placa, de la PCB, usant un software anomenat *Altium Designer*. Per a l'ús d'aquest programari, també ha estat necessària una formació prèvia d'unes trenta cinc hores.

En finalitzar aquesta darrera etapa, cal portar el prototip a fabricar i muntar a un proveïdor extern, i a continuació realitzar les diferents simulacions reals sobre la placa impresa.

Una vegada s'ha comprovat el correcte funcionament es procedeix a la redacció de la documentació tècnica amb la finalitat d'iniciar la comercialització del producte.

En paral·lel a tot el desenvolupament del projecte s'ha anat verificant el seu progrés i s'ha elaborat progressivament la memòria del projecte, així com els diferents estudis de viabilitat.

6. Resultats

6.1. Programació del microcontrolador

Configuració del sistema digital

En aquest apartat es descriu la solució del programari desenvolupada.

L'eina utilitzada per desenvolupar el software ha estat el *STM32CubeIDE*. Aquesta eina permet la programació amb les diferents plaques de desenvolupament que ofereix la marca *STM*, configurant els perifèrics i les diferents opcions dels microcontrolador des d'un inici a partir d'una interfície *IDE* intuïtiva i professional. Aquesta opció genera automàticament el codi bàsic necessari de la configuració inicial. No obstant, des d'un principi s'han de determinar quins són els recursos necessaris per al projecte.

Configuració dels perifèrics

En primer lloc, s'inicia la configuració del microcontrolador. A continuació, es procedeix a descriure un criteri de selecció per tal d'escollir el microcontrolador a utilitzar i la placa de desenvolupament que es fa servir. Tot seguit, es continua amb la configuració dels perifèrics, determinant els *pins*, si són entrades o sortides, si tenen funció d'ADC i per tant, llegeixen valors analògics i amb la configuració dels *timers* que s'utilitzen.

A l'inici d'aquest projecte s'han determinat certs perifèrics, un *pin* de sortida, un *pin* ADC i els *timers*. A continuació es mostra en la figura 6.1.1. l'entorn de desenvolupament *STM32CubeIDE* en la que s'observa el microcontrolador amb els *pins* escollits.

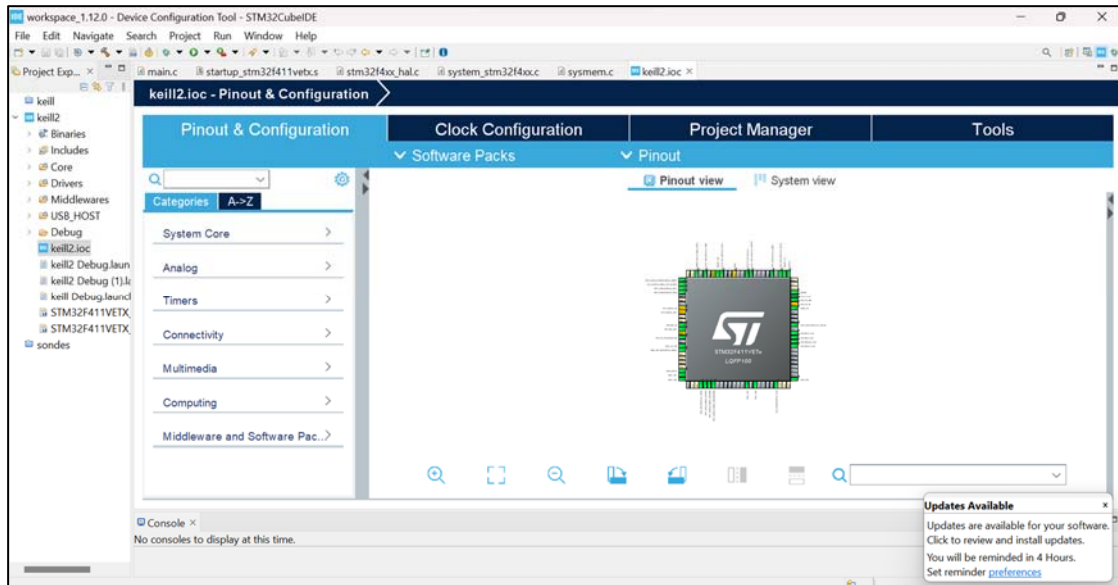


Figura 6.1.1. Microcontrolador en l'entorn *STM32CubeIde*.

En la següent figura 6.1.2, es pot observar la configuració que permet l'eina, en l'apartat DMA (*Direct Memory Access*). Es poden modificar els *DMA Request*, segons la seva prioritat i la direcció entre altres característiques. La figura mostra la configuració del DMA escollida pel projecte.

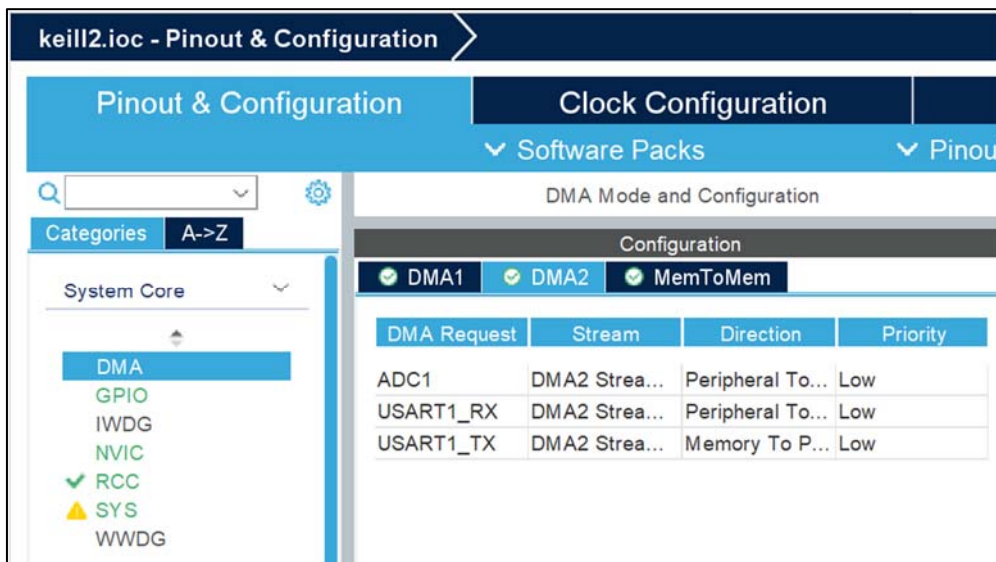


Figura 6.1.2. Configuració del DMA.

En la figura 6.1.3. mostrada a continuació, s'observa l'entorn que ofereix l'eina per la configuració del GPIO. És on es poden configurar els *pins* del microcontrolador, segons la necessitat i el projecte que es vol desenvolupar. En la imatge s'observa que s'han escollit els *pins* PA1 i PA2, que són els *pins* de l'ADC.

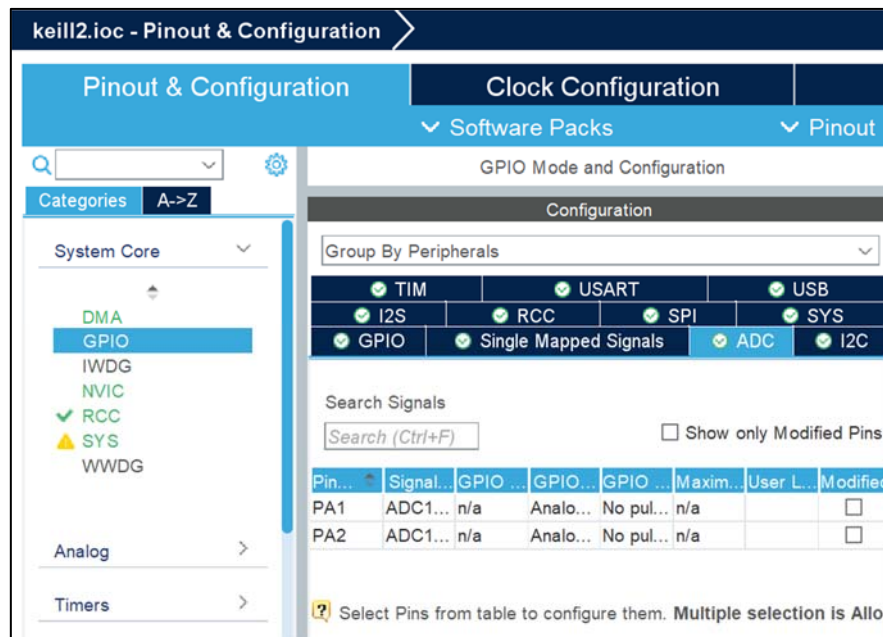


Figura 6.1.3. Configuració del GPIO, és a dir, els ports.

Tanmateix, en la següent figura 6.1.4. es visualitza la part de l'eina que permet la configuració del *SysMode* tal i com s'ha configurat pel projecte.

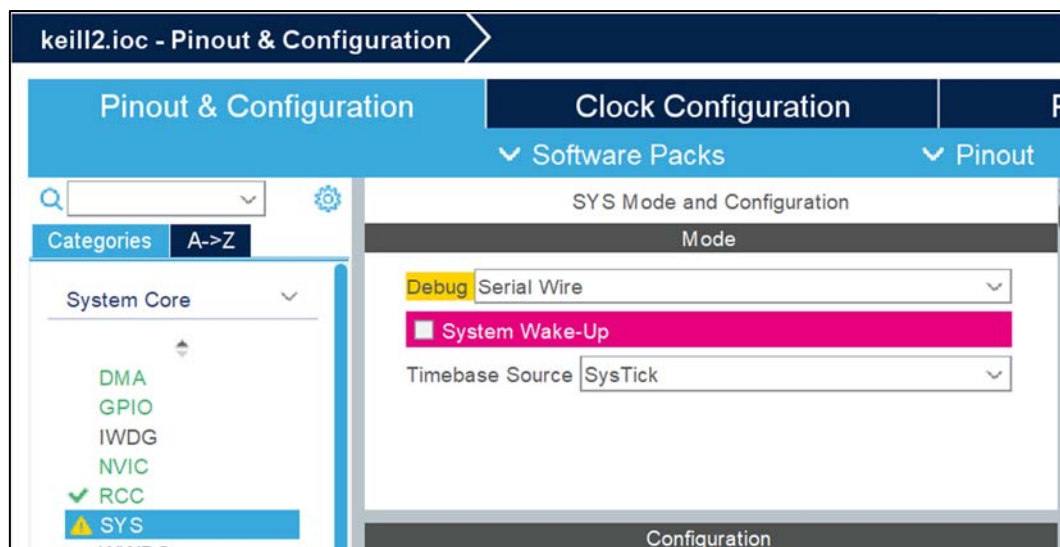


Figura 6.1.4. Configuració del *SysMode* .

A la figura 6.1.5. tot i que anteriorment ja s'han configurat els *pins* de l'ADC, tal i com s'ha mostrat a la figura 6.1.3. es tornen a detallar. Escollint la mida de les dades, quin canal de l'ADC es fa servir, si és IN1 o IN2 o d'altres característiques.

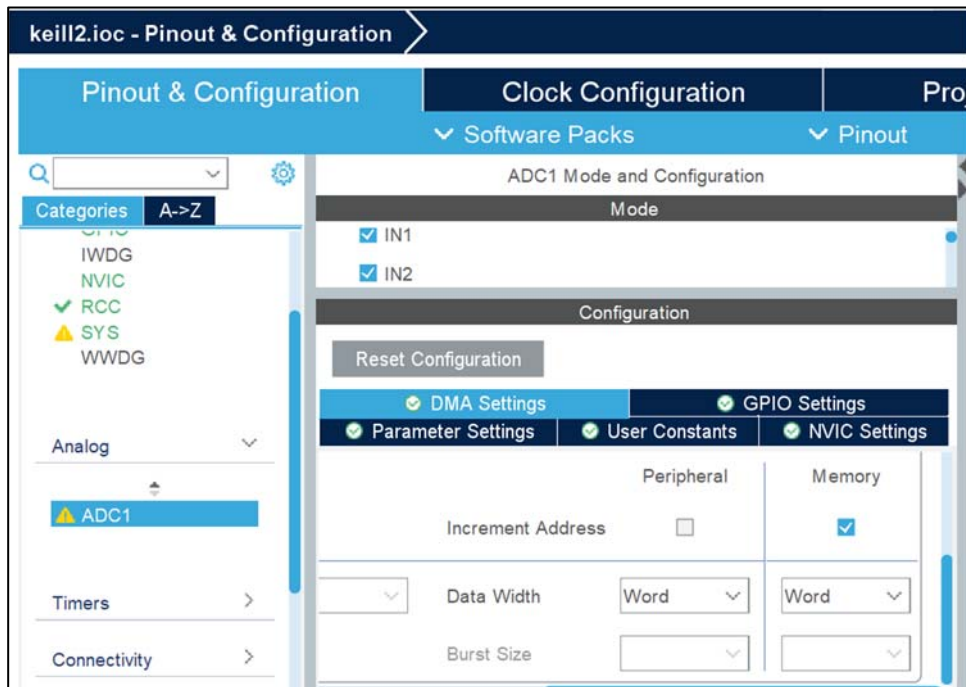


Figura 6.1.5. Configuració de l'ADC, on es poden observar dos pins establerts.

A continuació es detalla la configuració dels *timers* del microcontrolador.

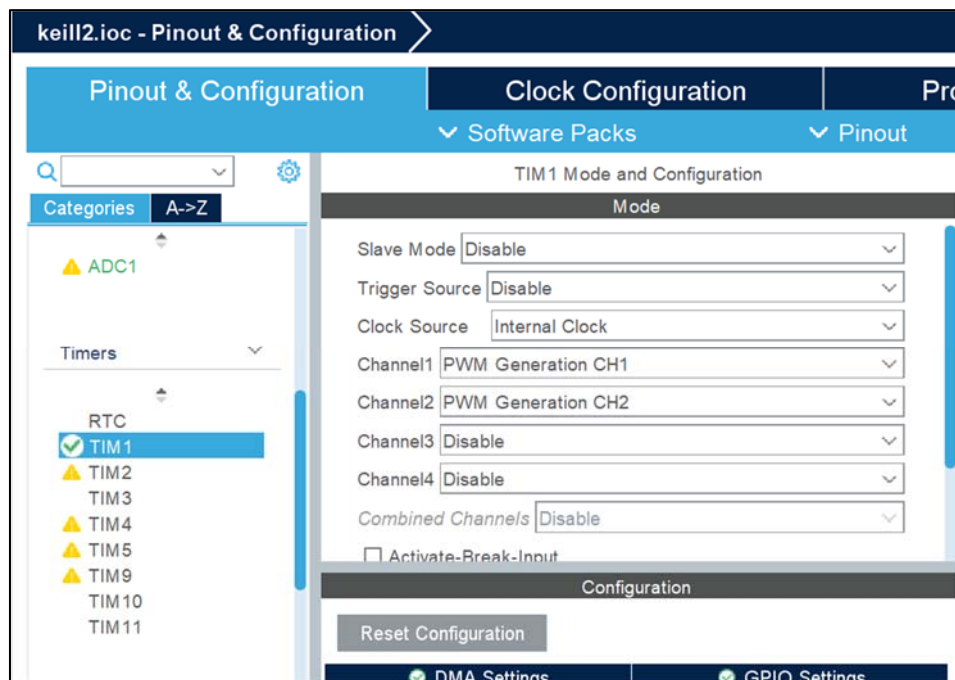


Figura 6.1.6 . Configuració dels diferents *timers* que pot utilitzar el microcontrolador.

Un cop s'han determinat les diferents parts del microcontrolador que s'utilitzen, l'entorn de programació crea un primer codi amb les configuracions establertes. A partir d'aquest codi, s'adapten les funcionalitats a les necessitats del projecte inserint nous conjunts d'instruccions i, si és necessari, també es poden afegir més configuracions o *pins*, entre d'altres components, durant la programació.

Configuració de l'ADC

Tot i que l'ADC es troba inicialment configurat, atès que es volen usar dos *pins* amb el mateix ADC s'ha de determinar i configurar explícitament.

A continuació en la figura 6.1.7 es mostra la configuració d'un *pin* ADC (Convertidor analògic digital) que engloba la inicialització d'aquest en la funció anomenada *MX_ADC1_Init()*. Fent ús de la llibreria *HAL (Hardware Abstraction Layer)* de *STMicroelectronics*.

```
static void MX_ADC1_Init(void) {  
  
    ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};  
    hadc1.Instance = ADC1;  
    hadc1.Init.ClockPrescaler = ADC_CLOCK_SYNC_PCLK_DIV4;  
    hadc1.Init.Resolution = ADC_RESOLUTION_12B;  
    hadc1.Init.ScanConvMode = DISABLE;  
    hadc1.Init.ContinuousConvMode = ENABLE;  
    hadc1.Init.DiscontinuousConvMode = DISABLE;  
    hadc1.Init.ExternalTrigConvEdge = ADC_EXTERNALTRIGCONVEDGE_NONE;  
    hadc1.Init.ExternalTrigConv = ADC_SOFTWARE_START;  
    hadc1.Init.DataAlign = ADC_DATAALIGN_RIGHT;  
    hadc1.Init.NbrOfConversion = 2;  
    hadc1.Init.DMAContinuousRequests = ENABLE;  
    hadc1.Init.EOCSelection = ADC_EOC_SINGLE_CONV;  
  
    if (HAL_ADC_Init(&hadc1) != HAL_OK) {  
        Error_Handler();  
    }  
    sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_1;  
    sConfig.Rank = 1;  
    sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_3CYCLES;  
    if (HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig) != HAL_OK) {  
        Error_Handler();  
    }  
}
```

Figura 6.1.7. Codi per a la configuració d'un *pin* ADC.

Tal i com s'observa en la figura 6.1.7. s'utilitza l'estructura *ADC_ChannelConfTypeDef* per configurar el canal de l'ADC. Tot seguit, es configuren els paràmetres generals de l'ADC, com ara, la resolució, la velocitat, el rellotge i el mode de conversió. Quan es fa la crida a la funció *HAL_ADC_Init(&hadc1)*, l'ADC s'inicialitza.

Seguidament, es configura el canal de l'ADC que s'utilitza per la conversió. En aquest cas es configura el canal 1 (*CHANNEL_1*) amb una mostra de temps de tres cicles de rellotge, aplicat a la crida de la funció *HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig)*.

I per tractar i evitar els possibles problemes, en el cas que sorgeixi algun error en la inicialització de l'ADC, la funció del *Error_Handler()* tracta l'error.

Configuració del *debugger*

Per poder fer un seguiment i analitzar el funcionament del codi establert, es configura el *debugger* tal i com es mostra en la figura 6.1.8. El més destacable és determinar el port i utilitzar la interfície *SWD*, a més a més del *ST_LINK GDB* server.

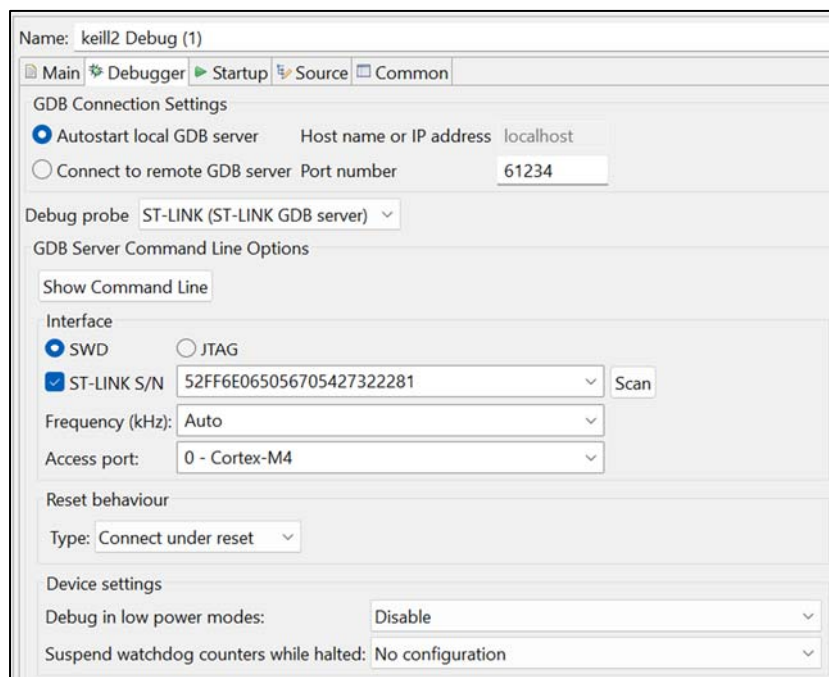


Figura 6.1.8. Configuració del *debug* on es pot observar la interfície *SWD* i el port escollit, entre altres elements que ja venen determinats.

Adicionalment, cal habilitar el *SWD* amb el *Clock* del microcontrolador tal i com s'observa a la figura 6.1.9, atès que sense aquesta opció no es poden visualitzar les gràfiques i/o valors que s'estan llegint i obtenint. A més, proporciona l'opció de poder visualitzar per pantalla allò que es demani [50].

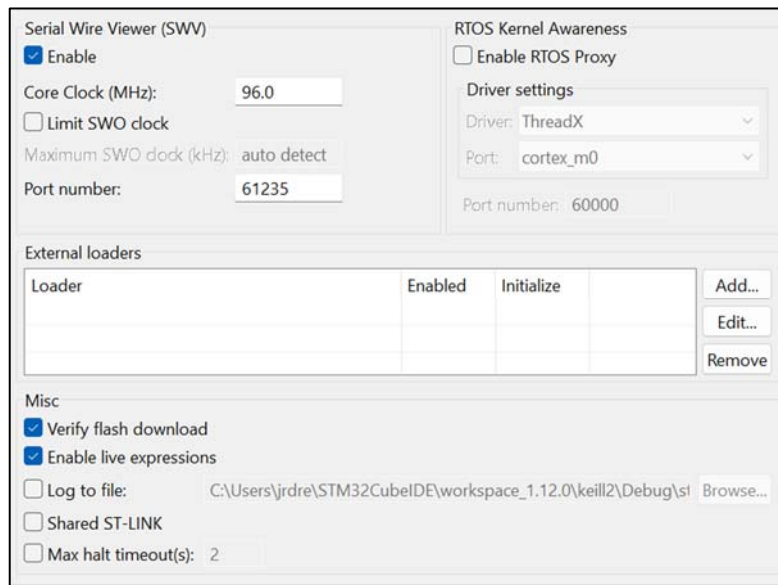


Figura 6.1.9. A continuació de la figura 6.1.8, s'habilita el SWV i s'assegura que el *clock* i el port siguin els correctes.

A continuació, es detalla el codi utilitzat en la primera prova per encendre i apagar la bomba d'impulsió i els actuadors, encara que, en aquesta prova inicial amb només un actuator, en mode calor. Els resultats s'observen en les figures 6.1.11, 6.1.12, 6.1.13. mostrades a continuació. El codi detallat s'adjunta en l'annex III (programa bàsic d'una zona).

Aquest primer programa comença adquirint el senyal de la temperatura ambient, i la compara amb la temperatura consigna més o menys un grau. La raó de configurar un grau per dalt i un grau per baix del valor a aconseguir és per establir uns marges de temperatura; però que no afecten al confort que es vol proporcionar amb el sistema. Si la temperatura és mes petita, s'encenen els actuadors i el sistema s'espera tres minuts per encendre la bomba d'impulsió. A més, es calcula el temps de cycle en el que està encesa la bomba i el temps en el que està apagada. Si la temperatura detectada és major que la temperatura consigna més un grau s'apaguen els

dispositius i si ja estaven apagats no fa res. A continuació en la figura 6.1.10. es mostra el tros de codi que s'executa per obtenir el comportament descrit.

```
if (temperature1 < consignacalor - 1.0 ) {
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, EXTERNAL_PIN_1, GPIO_PIN_SET);
    if(esperar == 0){
        HAL_Delay(180000);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, EXTERNAL_PIN, GPIO_PIN_SET);
        esperar = 1;
        esperar2 = 0;
        calculartempsences = 1;
        // Inicia el temporitzador
        temporitzador = HAL_GetTick();
        if (calculartempsapagat == 1){
            calculartempsapagat = 0;
            tempsactual2 = HAL_GetTick ();
            // Deté el temporitzador
            temporitzador2 = tempsactual2 - temporitzador2;
            temps2 = ((double)temporitzador2 / 1000.0);
            printf ("Interval temps apagat: %.2f segons \r\n", temps2);}
        }
    }
else if ( temperature1 > consignacalor + 1.0){
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, EXTERNAL_PIN_1, GPIO_PIN_RESET);
    if (esperar2 == 0){
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, EXTERNAL_PIN, GPIO_PIN_RESET);
        esperar = 0;
        esperar2 = 1;
        calculartempsapagat = 1;
        // Inicia el temporitzador
        temporitzador2 = HAL_GetTick();
        if (calculartempsences == 1){
            calculartempsences = 0;
            tempsactual = HAL_GetTick ();
            // Deté el temporitzador
            temporitzador = tempsactual - temporitzador;
            temps = ((double)temporitzador / 1000.0);
            printf ("Interval temps encens: %.2f segons \r\n", temps);}
        }
    }
}
```

Figura 6.1.10. Tros de codi del programa bàsic que es detalla a l'annex III

En l'execució del primer programa desenvolupat, s'obté la gràfica mostrada en la figura 6.1.11. On s'observen les dades que s'obtenen del funcionament de la climatització per terra radiant.

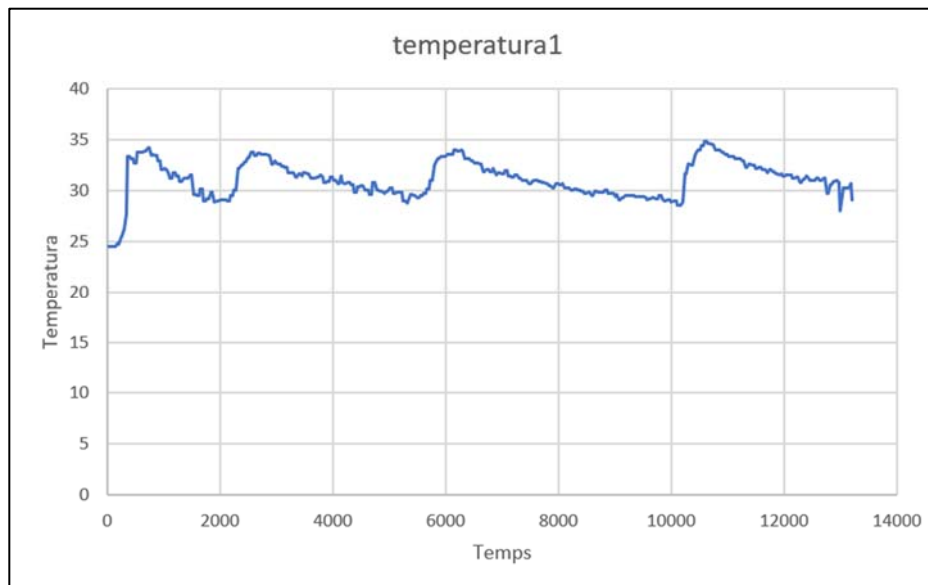


Figura 6.1.11. Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambiental en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 45°C.

A la figura 6.1.11. mostrada, s'observa que el comportament del sistema és l'esperat. Quan el microcontrolador capta que la temperatura ambiental és menor a 30°C (ajustada a 29°C) aquest activa la sortida de l'actuador i de la bomba (la qual té un retard de 3 minuts) i comença a passar aigua, i per tant a escalfar l'ambient. Un cop es detecta que la temperatura és superior a 30°C que és la temperatura consigna (que s'ha ajustat a 31°C), s'apaga la bomba i l'actuador i per tant l'aigua que circula pel sistema fa que la temperatura ambiental disminueixi.

Tot i això, s'observa que a l'arribar a la temperatura consigna establerta aquesta la sobrepassa, fins arribar a 4°C per sobre. Això és degut a la inèrcia de la temperatura del terra radiant. Per tant, es conclou que el sistema s'ha d'optimitzar i aconseguir un funcionament més eficient i consegüentment, amb menys consum.

D'altra banda es concreta que el comportament del sistema mostrat en la figura 6.1.11, no és exactament el comportament real que es vol aconseguir d'aquest sistema perquè la gràfica obtinguda no és estable. A més, la simulació que s'ha portat a terme, ha provocat quatre arrancades de la bomba en 3,6 hores.

Tanmateix, s'espera que en el comportament real desitjat la durada aproximada per augmentar la temperatura ha de ser la mateixa que per reduir-la.

Per realitzar una segona prova s'ha establert la temperatura d'impulsió a 40°C. La resposta del sistema ha estat la mostrada en la següent figura 6.1.12.

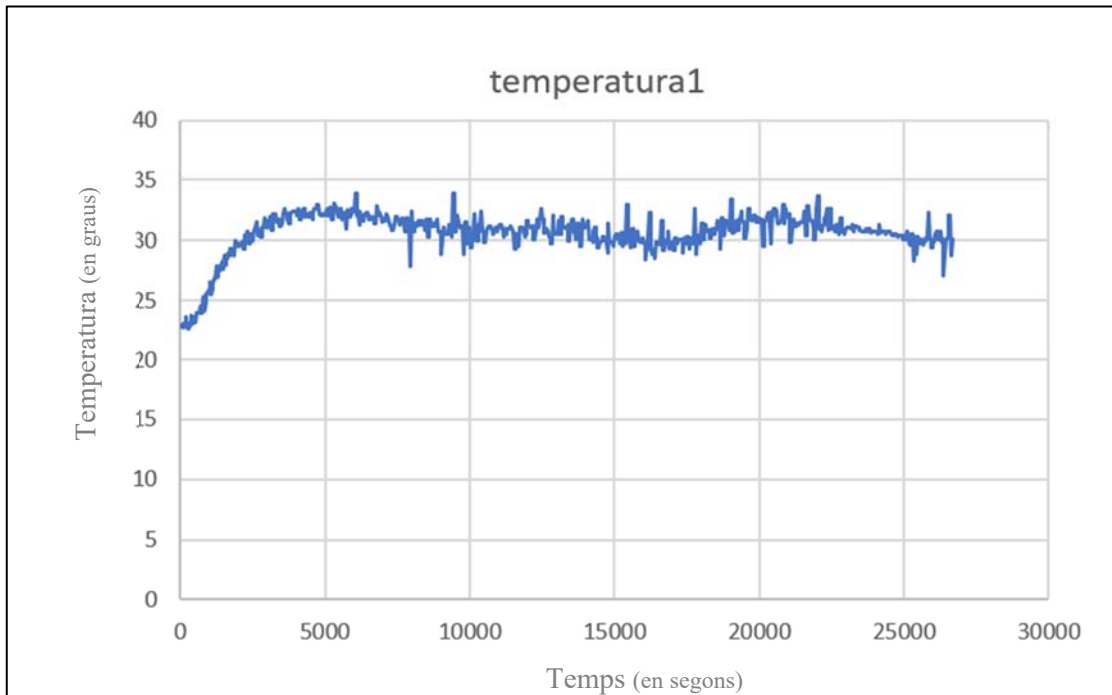


Figura 6.1.12 . Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambiental en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura d'impulsió a 40°C.

Convé ressaltar que en la gràfica mostrada s'observa que el comportament del microcontrolador és el mateix que el de la gràfica anterior. Quan el microcontrolador capta que la temperatura ambiental és menor a 30°C (ajustada a 29°C) aquest activa la sortida de l'actuador i de la bomba (la qual té un retard de tres minuts) i comença a passar aigua, i conseqüentment a escalfar l'ambient. Un cop es detecta que la temperatura és superior a 30°C, que és la temperatura consigna (ajustada a 31°C), s'apaga la bomba i l'actuador, i per tant l'aigua que circula pel sistema fa que la temperatura ambiental disminueixi.

En aquesta prova també s'observa que a l'arribar a la temperatura consigna establerta aquesta la sobrepassa. Això és degut a la inèrcia de la temperatura del terra radiant. Per tant s'ha d'optimitzar i fer així el sistema més eficient i que consumeixi menys. Tot i això, comparat amb la figura 6.1.11 el pic de la inèrcia de temperatura és menor, i triga molt més a disminuir aquesta temperatura. En el segon cicle de la figura 6.1.12, es pot veure que la inèrcia és menor respecte la primera, tot i això segueix sent de 3°C per sobre, un menys que la temperatura màxima obtinguda amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 45°C.

Per realitzar una comparació completa i comprovar la importància de la temperatura de la bomba d'impulsió, també s'ha realitzat la simulació amb una temperatura de 50°C obtenint com a resultat el comportament mostrat en la figura 6.1.13.

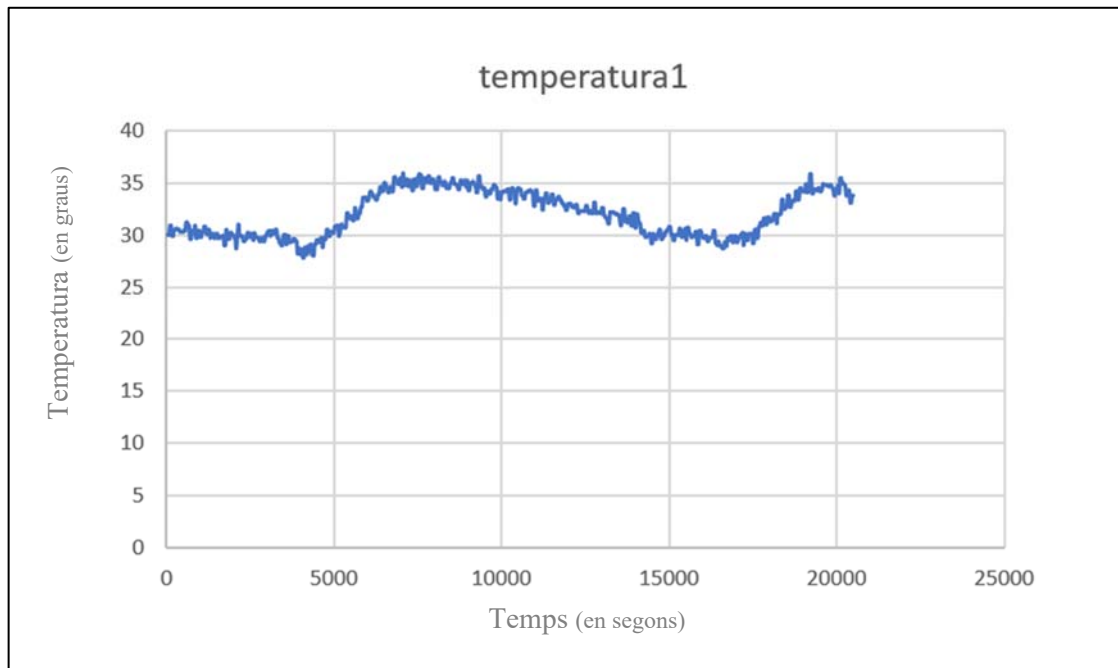


Figura 6.1.13 . Resposta del sistema simulat on s'observa la temperatura ambient en l'eix y i el temps en l'eix x, amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 50°C.

Cal tornar a dir que en la gràfica mostrada s'observa que el comportament del microcontrolador també és l'esperat. I actua d'una forma similar a les altres dues respostes obtingudes anteriorment.

S'observa que a l'arribar la temperatura a la consigna establerta aquesta la sobrepassa, degut a la inèrcia tèrmica del sistema. A més, comparat amb la figura 6.1.12 el pic de la inèrcia de temperatura és major, i triga molt més a disminuir aquesta temperatura. En aquesta prova, la temperatura d'inèrcia és de 6°C per sobre la consigna.

Recollint el més important dels resultats de les gràfiques mostrades en les tres figures anteriors, que fan referència a les diferents simulacions realitzades, es pot observar que l'error es redueix si la temperatura d'impulsió està més pròxima a la temperatura de consigna. En conseqüència, el fet de variar aquesta temperatura pot facilitar el control i l'optimització del sistema per tal de reduir el consum i millorar l'eficiència energètica, però sempre oferint els requisits desitjats.

Per aquesta raó, es realitzen dues accions. D'una banda, per optimitzar la corba de la inèrcia de la temperatura i reduir-la el màxim possible, s'incorpora un sistema PID (*Proportional-Integral-Derivative*) per aconseguir una resposta del sistema més estable. I d'altra banda,

s'estudia la forma d'incorporar el control de la temperatura d'impulsió a partir d'una vàlvula mescladora per millorar l'eficiència del sistema allargant el temps entre cicles d'encesa i apagat del sistema.

Un cop realitzades un seguit de proves, s'observa que no és possible la incorporació d'un sistema PID, ja que el que es regula no és una sortida proporcional. Tanmateix, tampoc és viable incorporar la vàlvula mescladora, degut al condicionament del temps del projecte.

No obstant, a partir de les simulacions que es detallen a continuació, s'ha desenvolupat el codi final del sistema.

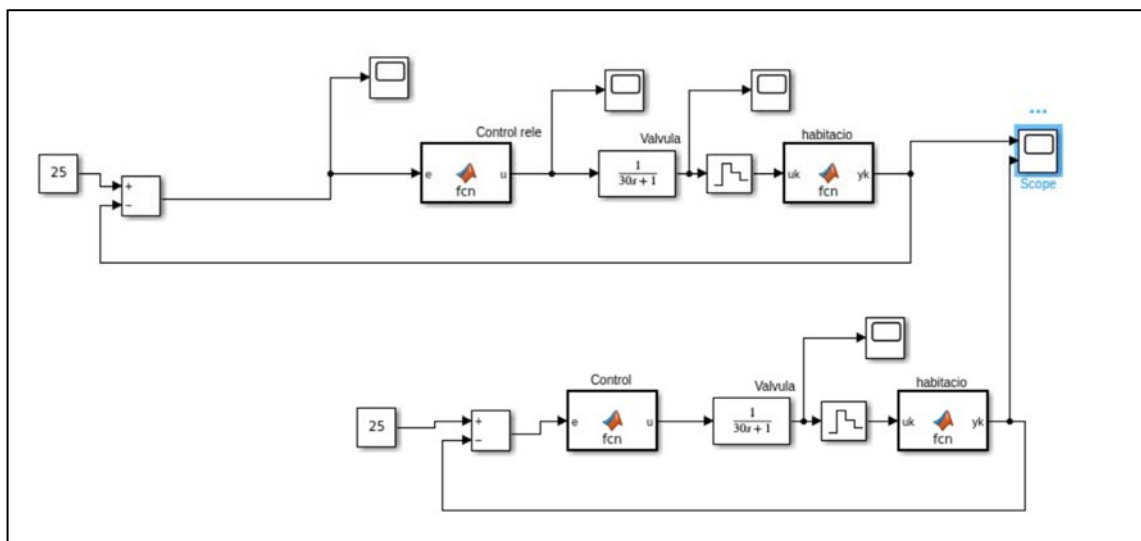


Figura 6.1.14. Simulació del sistema al *Simulink*.

En la figura 6.1.14, es pot observar l'adaptació del sistema real a l'ideal a partir d'una simulació executada amb el programari *Matlab*, *Simulink*. Es poden observar dues configuracions diferents, la de dalt és un sistema configurat amb histèresi i la configuració de sota sense la histèresi.

El sistema que es detalla a la part de baix, actua obrint i tancant, tant la bomba d'impulsió com l'actuador, depenent de si es supera o no la temperatura de consigna enviant una senyal de obertura o tancament als components. El codi generat és el mostrat en la figura 6.1.15 i 6.1.16.

```
function u=fcn(e)
if e>0 u=45;
else u=15;
end

return
```

Figura 6.1.15. Funció dins la *Matlab Function* anomenada Control del sistema inferior.

```
function yk=fcn(uk)
persistent yk_1
if isempty(yk_1)
    yk_1=10;
end

yk=yk_1*(1-0.1/240)+0.1*uk/240;

yk_1=yk;

return
```

Figura 6.1.16. Funció dins la *Matlab Function* anomenada habitació del sistema inferior.

En el sistema detallat a la part superior de la figura 6.1.14 que mostra la simulació realitzada amb *Simulink*, el funcionament és diferent perquè en primer lloc, es té en compte el retard de l'actuador en obrir-se. En segon lloc, perquè també es té en compte que el *relé* que proporciona el voltatge per activar els diferents dispositiu no pot estar encenent-se i apagant-se sense parar. I en darrer lloc, perquè es valora que respecte les simulacions fetes anteriorment i mostrades a les figures 6.1.11, 6.1.12, 6.1.13, existeix una diferència entra la pujada i la baixada de la corba. Trigant més en refredar-se que en escalfar-se. El codi generat és el mostrat en les següents figures 6.1.17 i 6.1.18, detallades a continuació.

```
function u=fcn(e)
persistent uk_1;
if isempty(uk_1)
    uk_1=45;
end
if (e>=0.1)
    u=45;
end
if (e<0.1) && (e>-0.1) && (uk_1==45)
    u=45;
end
if (e<0.1) && (e>-0.1) && (uk_1==15)
    u=15;
end
if (e<=-0.1)
    u=15;
end
uk_1=u;

return
```

Figura 6.1.17. Funció dins de la *Matlab Function* anomenada *Control relé* del sistema superior, el qual implementa la histèresis.

```
function yk=fcn(uk)
persistent yk_1 yk_2
if isempty(yk_1)
    yk_1=10; yk_2=10;
end
if (yk_1-yk_2)>=0
    yk=yk_1*(1-0.1/240)+0.1*uk/240; %tau=240s 4*tau= 15 min. S'esta escalfant.
else
    yk=yk_1*(1-0.1/360)+0.1*uk/360; %Refredament 24 minuts. tau=360 s= 6'
end
yk_2=yk_1;
yk_1=yk;

return
```

Figura 6.1.18. Funció dins la *Matlab Function* anomenada *habitació* del sistema superior, en la qual s'implementen les funcions de pujada i baixada de la corba del sistema.

Com es pot observar en la següent figura 6.1.19, la resposta retolada en blau assoleix l'estabilitat, en canvi la que està retolada en groc no ho aconsegueix perquè sempre té una histèresi que no li permet estabilitzar-se. Per tant, en el codi de programació del sistema s'ha de trobar aquesta resposta, amb l'objectiu d'aconseguir la menor quantitat de enceses i apagades de la bomba d'impulsió i dels actuadors.

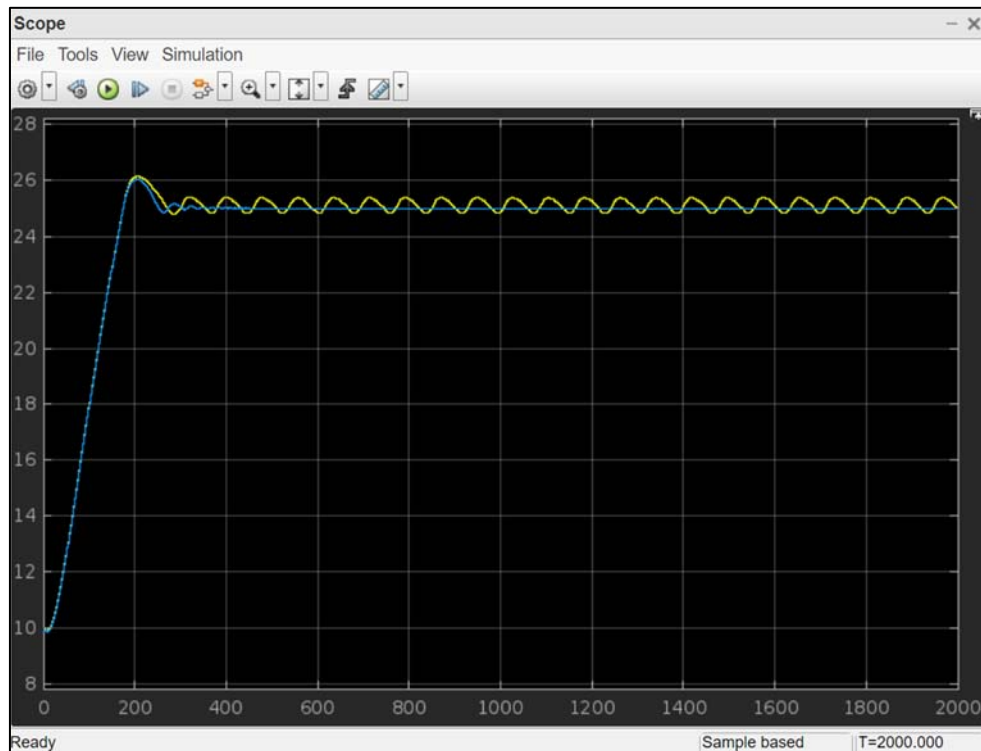


Figura 6.1.19. Resposta de la Simulació de la figura 6.1.14, la retolada en blau fa referència al sistema inferior i la retolada en groc al sistema superior, en l'eix y es troba la temperatura i en l'eix x el temps (en segons).

Un cop valorat aquest comportament, es procedeix a optimitzar la programació del microcontrolador per obtenir una resposta més eficient.

L'objectiu del següent codi de programació desenvolupat és reduir l'error tant en el marge superior com en el marge inferior de la consigna per oferir un millor confort i millorar l'eficiència energètica a l'evitar canvis excessius de temperatura a la casa. Això es pot aconseguir ajustant els controls del sistema de climatització perquè siguin més precisos i sensibles, amb l'objectiu de minimitzar la diferència entre la temperatura actual i la temperatura desitjada.

A més a més, es cerca allargar els cicles d'encesa i apagat del sistema de climatització per obtenir una major estabilitat. Això implica permetre que el sistema funcioni durant períodes més llargs abans d'apagar-lo o tornar-lo a engegar. De manera que, es pot aprofitar millor la inèrcia tèrmica dels materials de construcció i reduir la freqüència d'arrencades i aturades del sistema, la qual cosa pot millorar l'eficiència energètica. Addicionalment, es proposa utilitzar

un sistema de retroalimentació per optimitzar la resposta del sistema i garantir un funcionament òptim.

A la figura 6.1.20 mostrada a continuació, s'observa una resposta típica amb oscil·lacions inicials que es van minimitzant fins arribar a ser estables. Aquesta és la resposta que es desitja aconseguir. Ara bé, atès el retard de l'actuador, hi ha una histèresi i per tant, és molt complex aconseguir una estabilitat completa, però sí que s'hi pot aproximar.

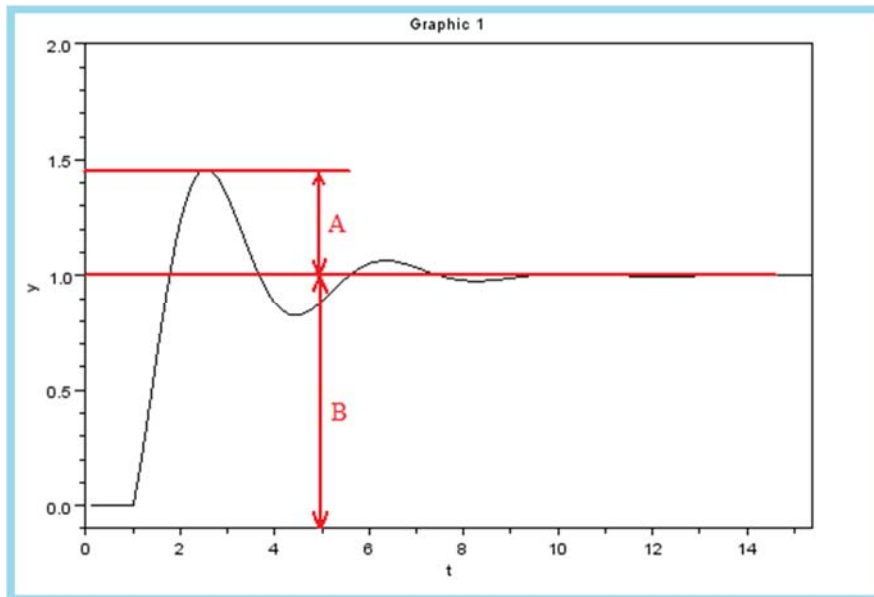


Figura 6.1.20. En aquesta imatge es pot observar l'error superior A, el qual s'intenta reduir [51].

Tal i com s'observa en la següent figura 6.1.21, el que es vol aconseguir amb el sistema és la resposta retolada en blau, que allarga els cicles d'encesa i apagat i conseqüentment consumeix menys energia.

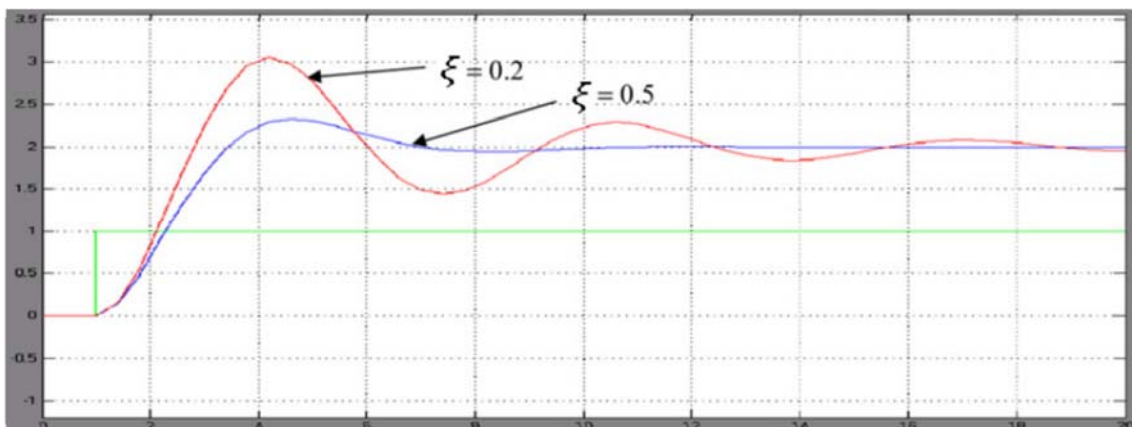


Figura 6.1.21. La resposta vermella és la que s'obté i la blava la que es desitja aconseguir.[51].

En conseqüència, s'ha estructurat la programació del microcontrolador perquè doni resposta als objectius marcats. Primer, es calcula l'error que hi ha en cada cicle, tant el superior com l'inferior. I en segon lloc, es calcula en quin moment s'ha d'encendre o apagar la bomba d'impulsió i/o els actuadors, sempre depenent dels marges superior i inferior que s'hagin donat.

Per fer les diferents proves, s'ha establert una temperatura de consigna de 35°C. A causa que les proves es van començar quan encara feia una temperatura exterior baixa, en els mesos d'hivern, es comprova en el primer pas del desenvolupament el mode calor. I per poder comprovar de quina manera disminueix la temperatura, s'han fet les simulacions a una temperatura elevada, per poder apreciar el comportament de manera adequada.

En el mode de calefacció, el marge superior que marca l'apagat s'ha establert a 36°C i l'inferior, que marca l'encesa, a 34°C. S'estima i es comprova en les diferents simulacions que la diferència d'un grau provoca que la variació i la inèrcia tèrmica de la temperatura no siguin massa grans.

El codi del programa emmagatzema els valors en variables, guardant un històric de les últimes temperatures adquirides tal i com s'observa, a la figura 6.1.22.

```
// actualitzem l'array amb un valor més
for (int i=0;i<9;i++){
    temperatura_y[i]=temperatura_y[i+1];
    temps_x[i]=temps_x[i+1];
}
temperatura_y[9]=temperature1;
```

Figura 6.1.22. Tros de codi que emmagatzema un històric de les últimes temperatures

Amb aquesta informació es permet comprovar la tendència de la temperatura; si és de pujada o de baixada, per situar en quin cicle es troba i determinar si s'encén o s'apaga al mateix. La comprovació per detectar si la temperatura baixa o puja al llarg del temps es realitza amb la funció que es detalla a la següent figura 6.1.23. que calcula la pendent dels valors emmagatzemats.

```
double calcular_pendent(float temps_x[], float temperatura_y[], int quants) {  
  
    double suma_x = 0, suma_y = 0, suma_xy = 0, suma_x2 = 0;  
    for (int i = 0; i < quants; i++) {  
        suma_x += temps_x[i];  
        suma_y += temperatura_y[i];  
        suma_xy += temps_x[i] * temperatura_y[i];  
        suma_x2 += temps_x[i] * temps_x[i];  
    }  
  
    double numerador = (quants * suma_xy) - (suma_x * suma_y);  
    double denominador = (quants * suma_x2) - (suma_x * suma_x);  
    double pendent = numerador / denominador;  
  
    return pendent;  
}
```

Figura 6.1.23. Funció per calcula la pendent de la temperatura

A més, en el codi s'estableix que si l'error detectat provoca que l'error següent sigui superior, el sistema actua i substitueix l'actual per l'anterior. El programa permet emmagatzemar l'error actual i l'anterior, per tal de trobar l'equilibri. El codi complet es pot trobar en l'annex II (Programa millorat d'una zona).

Amb codi del programa desenvolupat, s'ha comprovat i s'han realitzat diverses simulacions, configurant-lo amb una sola zona; encara que, està previst incorporar quatre zones. Per assegurar un bon funcionament, el codi s'ha avaluat amb una zona i, una vegada comprovat l'èxit d'aquesta, les altres zones està previst que funcionin de la mateixa manera.

A continuació es presenta la resposta obtinguda amb la temperatura de la bomba d'impulsió a 45°C.

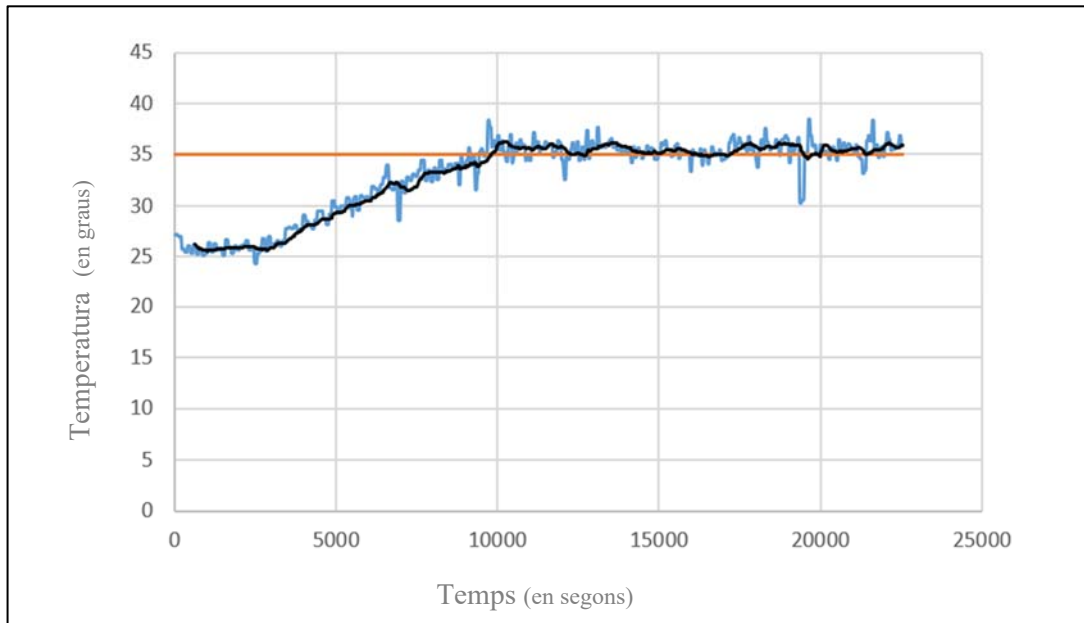


Figura 6.1.24. Resposta del sistema amb una temperatura d'impulsió de 45°C.

A la figura 6.1.24. mostrada en la part superior, s'observa que l'error es redueix respecte a l'error mostrat en la figura 6.1.11. D'altra banda, també s'ha reduït la quantitat de vegades que s'encén i s'apaga el sistema. La resposta retolada en blau cel representa els valors reals detectats per la sonda, i hi apareixen certs piccs que no s'han de tenir en compte perquè no són els valors reals, són valors residuals.

En conseqüència, en el codi, en comptes de tractar directament amb la temperatura real amb soroll que s'adquireix, es treballa amb les dades sense piccs, després d'un procés de neteja dels valors llegits per assegurar el bon funcionament del prototip. El procés de neteja de les dades consisteix en comprovar si el valor de la temperatura detectada respecte la següent és més gran a 0,5 graus; en aquest cas la temperatura neta s'ha de substituir per l'anterior.

La resposta retolada en negre de la figura 6.1.24, és la que assegura el bon funcionament, i la que s'ha utilitzat per actuar i prendre decisions pel funcionament del sistema.

A continuació, es mostra a la figura 6.1.25, la resposta que obtenim al posar la temperatura de la bomba d'impulsió a 50°C.

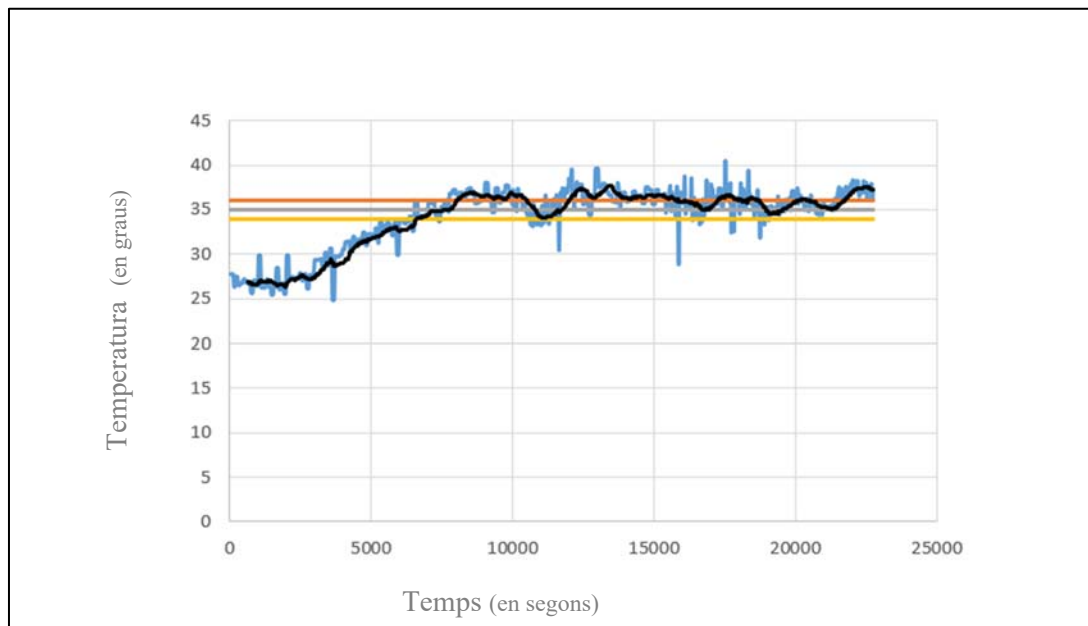


Figura 6.1.25. Resposta del sistema sota una temperatura de la bomba d'impulsió a 50°C.

Tot seguit, es mostra la resposta que obtenim al posar la temperatura de la bomba d'impulsió a 40°.

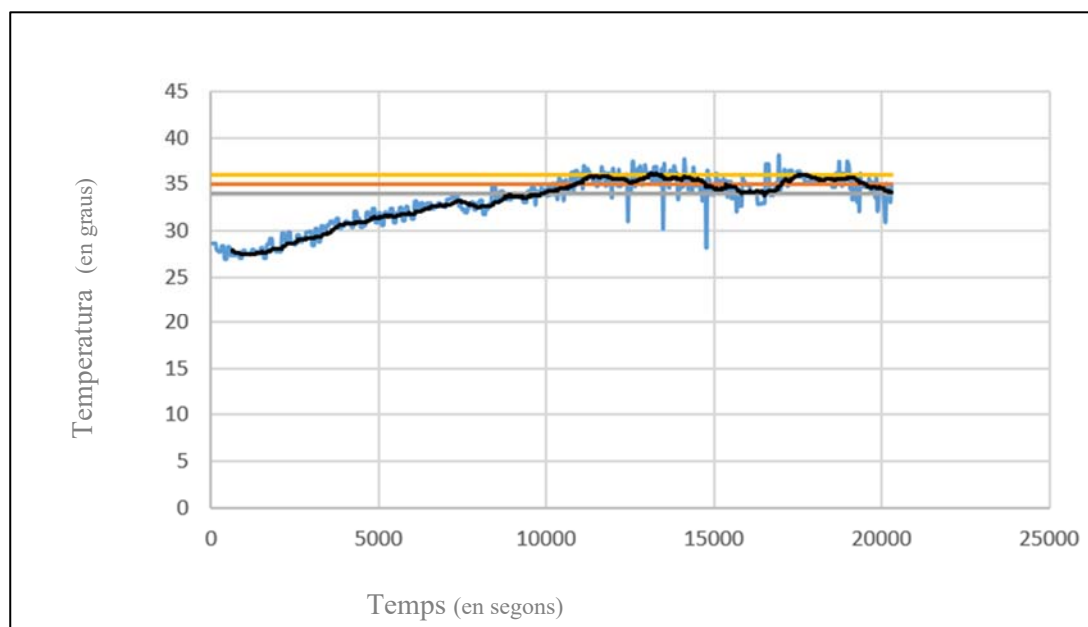


Figura 6.1.26. Resposta del sistema per una temperatura de la bomba d'impulsió a 40°C.

En aquestes últimes dues figures 6.1.25 i 6.1.26, es pot observar que de la mateixa manera que la figura 6.1.24, ha millorat considerablement, establint-se d'una forma més continua en el valor desitjat de temperatura.

Després de veure les tres gràfiques i comparant-les amb les figures 6.1.11, 6.1.12 i 6.1.13, es pot comprovar una gran millora al respecte; es millora l'eficiència energètica ja que els cicles d'encesa i apagat són majors, i es redueix la inèrcia tèrmica. Tot i tenir diferents consignes entre les gràfiques, degut a les condicions externes climàtiques, aquestes s'han ajustat als requisits i han contribuït a millorar el codi de la programació i la gràfica.

Tot i així, s'avalua el fet de comprovar el comportament del sistema i obtenir la gràfica corresponent a 35°C usant el codi anterior per tal de realitzar una comparació acurada i comprovar els resultats obtinguts respecte la optimització de la inèrcia de temperatura.

En totes les comprovacions, es vetlla per a que el funcionament del sistema sigui sempre en les mateixes condicions. En un inici, s'han fet les simulacions i s'han obtingut les gràfiques marcant un valor de consigna de 30°C i donat que la temperatura exterior detectada ha estat molt similar, ha provocat que la inèrcia de temperatura no sobrepasse en gaires graus la consigna.

Finalment, per corroborar els resultats, s'ha portat a terme una simulació del sistema configurat amb la unitat de connexions sense la programació del microcontrolador. La gràfica obtinguda ha estat la mostrada a la figura 6.1.27. Es pot observar que les gràfiques mostrades anteriorment, fruit del codi programat al microcontrolador, són millor que l'obtinguda sense el microcontrolador.

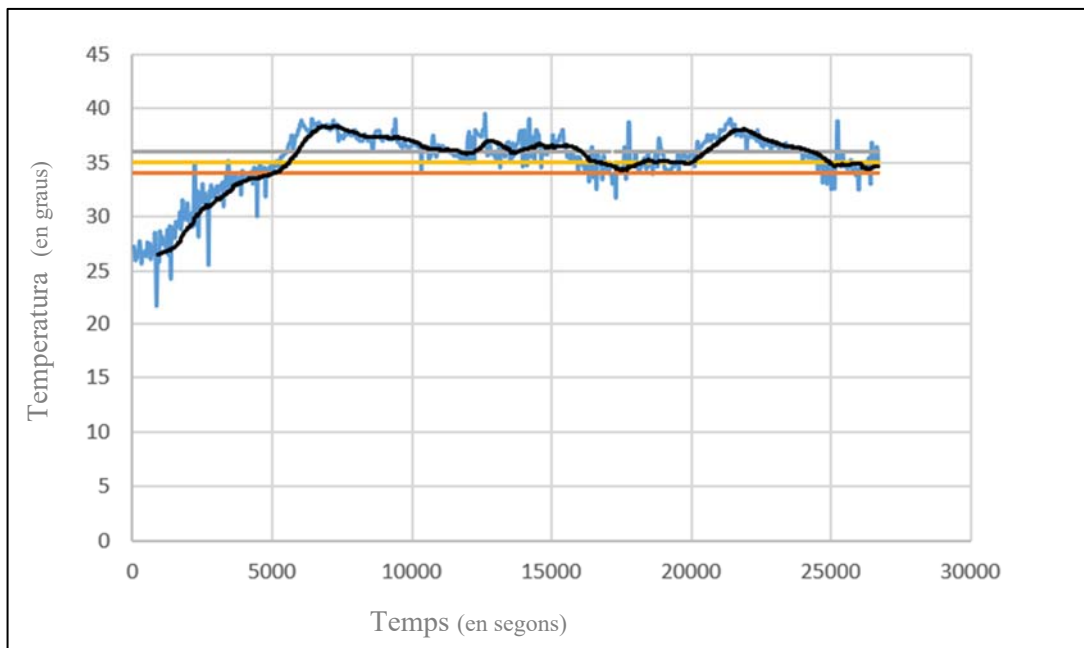


Figura 6.1.27. Resposta dels sistemes actuals, amb la temperatura d'impulsió a 40°C.

En conclusió, s'observa que el codi de la programació del microcontrolador proporciona una evident millora d'eficiència energètica. Mentre que en la figura 6.1.27 l'error que s'obté entre la consigna i la temperatura real és de 3°C, en la figura 6.1.26 com a màxim l'error és d'1°C.

El problema de la configuració que proporciona els resultats mostrats a la figura 6.1.27, és a causa de no preveure que els pics ocasionats són sorolls i no són valors a tenir en compte. A més, no es guarda l'error i per tant, no es pot millorar ni mantenir estable la gràfica, provocant una inèrcia tèrmica progressivament més gran. Això és degut principalment, a que el sistema ja està calent, provocant que trigui més en disminuir.

En el codi que es pot consultar en l'annex I (Programa del control del prototip) , s'observa que s'amplia la programació i s'afegeix la codificació pel mode fred, s'afegeixen les tres sondes de temperatura i es programa l'acció dels actuadors i la bomba. Es controla que quan una de les 4 zones doni senyal d'encesa, s'envii una senyal a la bomba per a que s'encengui, i es controla la temperatura depenent dels actuadors. D'altra banda, quan s'apaguin les zones, la bomba no s'ha d'apagar fins que l'última ho faci. Després, el comportament d'encesa i apagat segueix sent el mateix que en les proves fetes anteriorment, seguint calculant l'error i el pendent.

6.2. Desenvolupament de la placa

La unitat de control del projecte permet el control del circuit secundari dels sistemes de climatització per terra radiant. Està dissenyada per oferir a l'usuari el màxim confort i eficiència possible. El prototip és capaç de gestionar de forma intel·ligent el control de la temperatura de cada habitació d'un habitatge.

Les característiques principals que ofereix aquest prototip són les següents:

- Alimentació a 230VAC/50Hz
- Connexió fins a 4 zones
- Control de fins a 12 actuadors
- Sortida per a grup d'impulsió
- Connexió per a sensor d'humitat
- *LEDs* indicadors d'estat per a cada zona
- *LEDs* encesa/apagat
- *LEDs* de mode calor o fred
- Control d'aerotèrmia
- Compatibilitat de funcionament simultani de zones fred/calor i només calor.
- Instal·lació ràpida, simple i intuïtiva
- Sistema de protecció


Per el desenvolupament del disseny del prototip primer s'han determinat els circuits, s'han fet proves en una plataforma anomenada *Multisim* i finalment s'ha introduït i configurat en l'entorn desenvolupament *Altium Designer* per agrupar els components en el producte final que es vol obtenir.


6.2.1. Disseny, anàlisi i simulacions de circuits


El disseny de la unitat de control es fragmenta en diverses zones. A continuació, es detalla de forma individual cada zona indicant les entrades i sortides, la funció que duen a terme dins del prototip i els esquemes i càlculs realitzats per dissenyar els circuits.

En els annexos es detallen les especificacions tècniques de cada component, en concret en l'annex V (Components de la PCB).

A continuació es detallen els diferents components del circuit que el formen: un bloc terminal fixe de 2 posicions, un contenidor per a fusibles de 5mm i un transformador de 45W de corrent altern 230V a corrent continu 24V

	Tipus: Bloc terminal fixe de 2 posicions (B1).
	Quantitat: 1
	Referencia: TBL004V-508-02BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

	Tipus: Contenidor per a fusibles de 5mm (p1).
	Quantitat: 1
	Referencia: 4628
	Fabricant: Keystone Electronics

	Tipus: Transformador de 45W de corrent altern 230V a corrent continu 24V (ps1).
	Quantitat: 1
	Referencia: IRM-45-24
	Fabricant: MeanWell

Alimentació UC

La zona d'alimentació del microcontrolador és anomenada *alimentacio_uc* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta s'ubica al costat de l'alimentació general i serveix per proporcionar la tensió que necessiten certs components, com ara el microcontrolador, per a funcionar. Aquesta zona transforma la tensió de 24VDC a 3,3VDC.

Està formada per un regulador de voltatge lineal i dos condensadors per assegurar el bon funcionament d'aquest. L'esquema del circuit es pot observar en la figura 6.2.1.4.

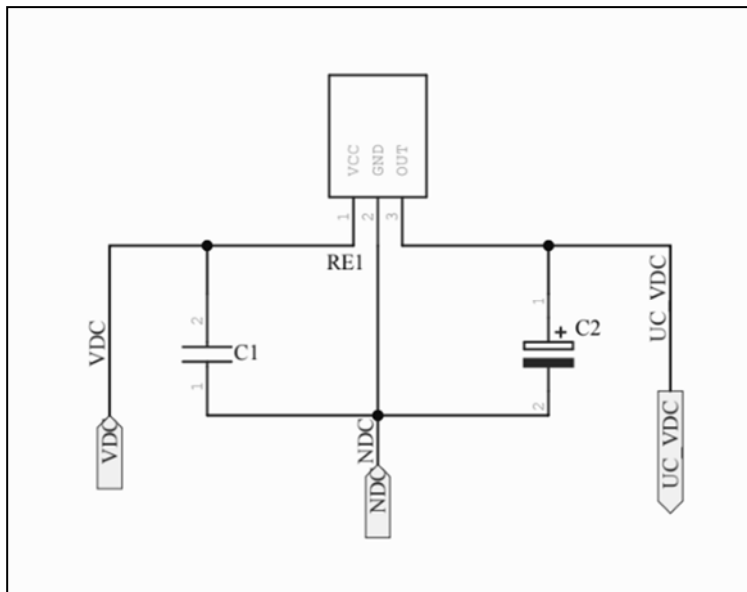





Figura 6.2.1.4. Esquema del circuit d'alimentació_{uc} de l'Altium Designer.

A continuació es detallen els diferents components que formen el circuit: un regulador de tensió de 24VDC a 3,3VDV, un condensador de 47uF i un condensador de 22uF de tantal.

	Tipus: Regulador de tensió de 24VDC a 3,3VDC (RE1).
	Quantitat: 1
	Referència: BA033CC0T
	Fabricant: ROHM Semiconductor

	Tipus: Condensador de 47uF (C1).
	Quantitat: 1
	Referència: C3216X5R1A476M160 AB
	Fabricant: TDK

	Tipus: Condensador de 22uF de tantal (C2).
	Quantitat: 1
	Referència: 293D226X96R3A2TE3
	Fabricant: Vishay/Sprague

Microcontrolador

La zona del microcontrolador s'anomena *UC* als arxius d'*Altium Designer*. La ubicació d'aquest circuit és central. La seva finalitat és substituir determinats circuits analògics per circuits digitals, amb l'objectiu de controlar dispositius electrònics mitjançant un programa i la interacció amb l'entorn. Està compost pel microcontrolador de la família *STMicroelectronics STM32F411EVE*T6, i a més, hi ha diversos circuits *hardware* al voltant per garantir el correcte funcionament, tal i com es mostra a la següent figura 6.2.1.5. Entre aquests es troben el circuit de l'oscil·lador, el circuit de *reset*, i els circuits de control de diferents voltatges.

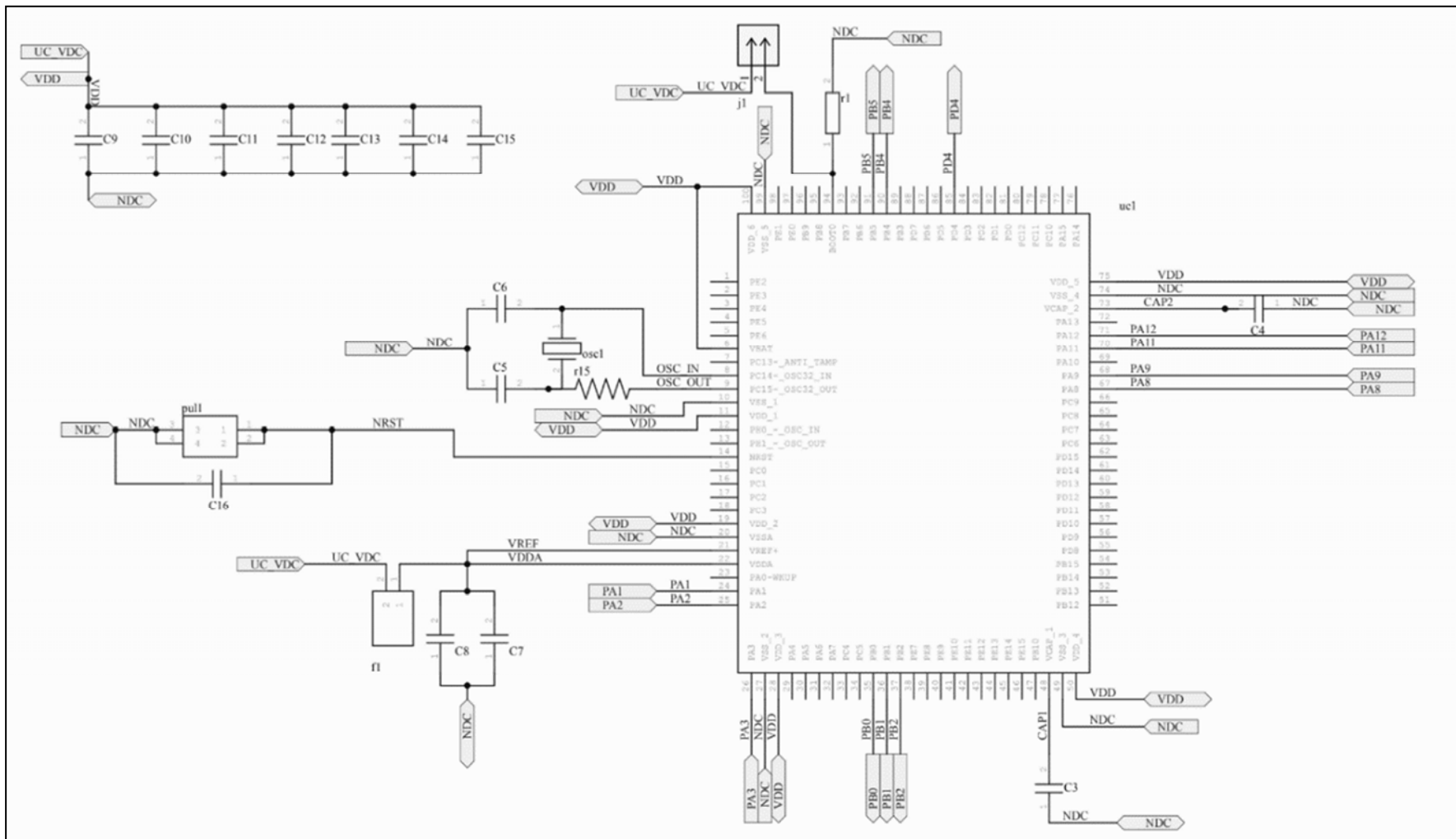






Figura 6.2.1.5. Esquem dels diferents circuits que componen el microcontrolador i el microcontrolador amb els pins pre-establerts.


A continuació es presenten els diferents components que el formen.


	Tipus: Condensador de 100nF (C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C16).
	Quantitat: 8
	Referència: C1005X7R1C104K050BC
	Fabricant: TDK


	Tipus: Condensador de 2,2uF (C3,C4).
	Quantitat: 2
	Referència: CGA4J1X7R1V225K125AE
	Fabricant: TDK


	Tipus: Condensadors de 6pF (C5,C6).
	Quantitat: 2
	Referència: CGA1A2C0G1H060D030BA
	Fabricant: TDK


	Tipus: Condensador d'1uF (C7).
	Quantitat: 1
	Referència: C1005X5R1V105K050BC
	Fabricant: TDK


	Tipus: Condensador de 4,7uF (C15).
	Quantitat: 1
	Referència: C2012X5R2A475K125AC
	Fabricant: TDK

	Tipus: Ferrite Bead (f1).
	Quantitat: 1
	Referència: WLBD1608K1U601TB
	Fabricant: Walsin

	Tipus: Jumper pins 2 posiciones (j1).
	Quantitat: 1
	Referència: DW-02-07-T-S-200
	Fabricant: Samtec

	Tipus: Cristall de 32,768kHz (osc1).
	Quantitat: 1
	Referència: ABS07-120-32.768KHZT
	Fabricant: ABRACON

	Tipus: Resistència de 10k Ω (r1).
	Quantitat: 1
	Referència: RG1005P-102-B-T5
	Fabricant: Susumu

	Tipus: Polsador (pull).
	Quantitat: 1
	Referència: FSM2JSMAATR
	Fabricant: TE Connectivity / Alcoswitch

Canvi de mode de funcionament

La zona de canvi de mode calor a fred i viceversa s'anomena *mode_calor_fred* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta zona està situada al vèrtex superior de la placa. El propòsit d'aquest circuit es poder escollir en quin mode treballa la unitat de control, oferint l'opció de calefacció o de refrigeració de la casa. Està format per un bloc terminal fixe de dues connexions, com es mostra en la figura 6.2.1.6. Aquest circuit funciona en mode calor si per PA12 retorna el voltatge de VDD, i en d'altra cas, el mode de funcionament és de refrigeració.

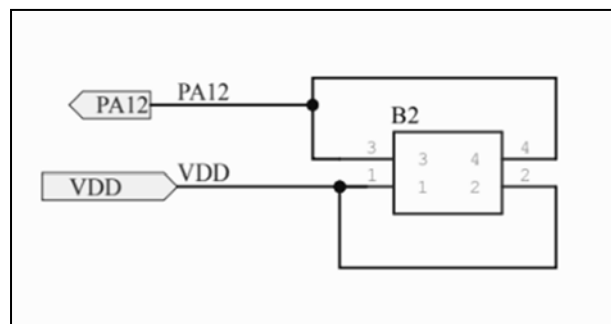



Figura 6.2.1.6. Esquema del circuit que escull el mode en que treballa la placa.

A continuació es presenta el component que el forma.

	Tipus: Bloc terminal fixe de 2 posicions (B2).
	Quantitat: 1
	Referència: TBL004V-508-02BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

Connexions de sondes de temperatura

La zona de connexió de sondes o termòstats s'anomena *termòstat* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta s'ubica a la part superior dreta de la PCB i incorpora terminals de dues connexions per connectar sondes per donar suport fins a quatre zones. Tres d'aquestes sondes ofereixen control de fred i calor i l'última només funciona en mode calor. Això es degut a que hi ha zones humides en els habitatges, com pot ser el bany, en el qual no és necessària la refrigeració donat que es pot crear una gran quantitat de condensació. Aquesta zona s'utilitza per alimentar elèctricament les sondes i rebre la senyal de temperatura que capten. Donat que aquests dispositius són NTC, s'ha afegit un divisor de tensió per permetre que el microcontrolador converteixi la senyal rebuda a temperatura.

Aquesta part es compon de quatre blocs terminals fixes de dues connexions cadascun; les dues connexions són NDC i PA1, aquesta última és la connexió que envia la senyal fins al microcontrolador.

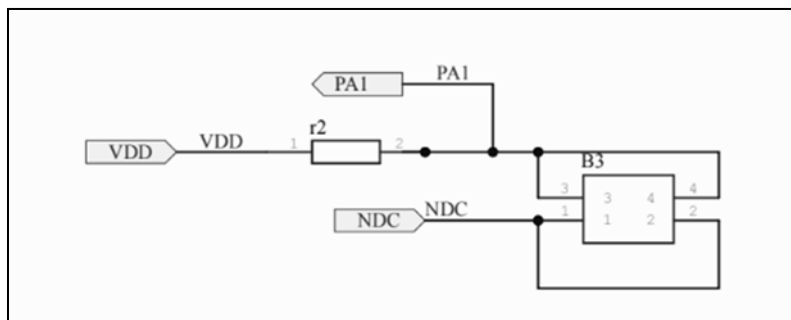




Figura 6.2.1.7. Esquema de la connexió de les sondes a la PCB, extret d'*Altium Designer*.

A continuació es presenten els detalls components que el formen: el bloc terminal fixe de 2 posicions i la resistència.

	Tipus: Bloc terminal fixe de 2 posicions (B3).
	Quantitat: 4
	Referència: TBL004V-508-02BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

	Tipus: Resistència de 10kΩ.
	Quantitat: 4
	Referència: RG1005P-102-B-T5
	Fabricant: Susumu

Connexió d'actuadors

La zona de connexió dels actuadors s'anomena *actuador* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta zona està situada a la part inferior dreta de la PCB. Proporciona els blocs de connexió per poder fer ús de fins a dotze actuadors. Els tres primers actuadors funcionen amb la primera sonda, els següents tres per la segona sonda i així successivament, fins a quatre zones. Per aquest motiu s'utilitzen quatre blocs terminals i quatre *reles*.

Es componen de quatre blocs fixes de sis connexions, i un *relé* per a cadascun dels blocs, és a dir, per cadascuna de les zones de les sondes. A més a més, s'hi localitza l'entrada de l'acció indicada pel microcontrolador, PB1; i les connexions de terra NDC i VP1 que correspon al voltatge enviat pel *relé* als actuadors per a que puguin funcionar.

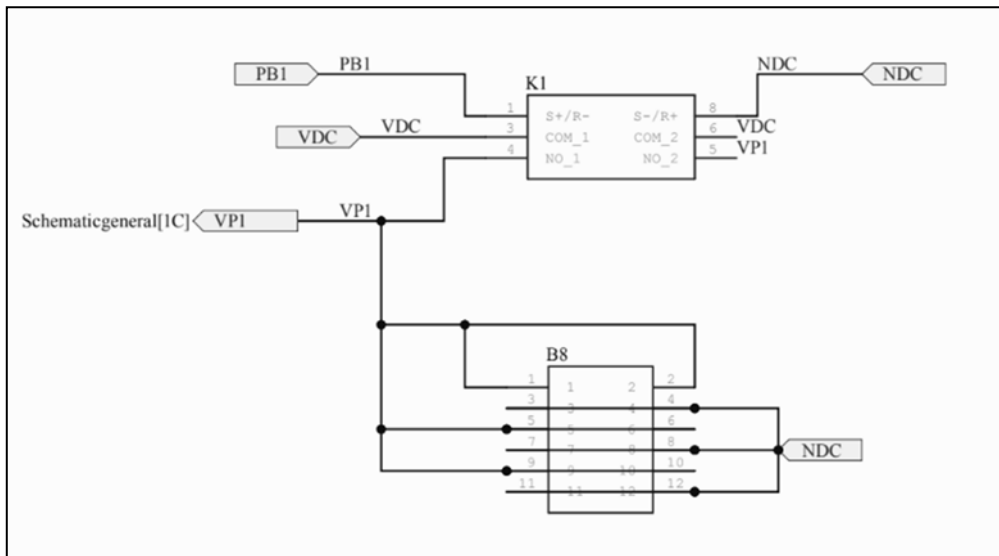
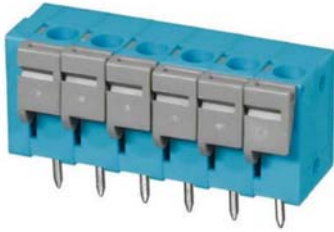



Figura 6.2.1.8. Esquema de la connexió de tres actuadors en un relé.

A continuació es presenten els diferents components que el formen: el bloc terminal fixe de 6 posicions i el relé.

	<p>Tipus: Bloc terminal fixe de 6 posicions (B8).</p> <p>Quantitat: 4</p> <p>Referència: TBL004V-508-06BE-2GY</p> <p>Fabricant: CUI Devices</p>
	<p>Tipus: Relé de 3VDC a la bobina que commuta a 24VDC/230VAC (K1).</p> <p>Quantitat: 4</p> <p>Referència: G5RL-U1A-E-DC3</p> <p>Fabricant: Omron Electronics</p>

Connexió de la bomba d'impulsió

La zona de connexió de la bomba d'impulsió s'anomena *bomba* als arxius d'*Altium*. Aquesta zona es troba situada a la part inferior de la PCB a l'esquerra. I és l'encarregada de subministrar la senyal de funcionament de la bomba d'impulsió quan el sistema es troba en demanda i es necessita la distribució de l'aigua per qualsevol de les zones; aquesta senyal de sortida passa per un *relé* que proporciona la commutació per a subministrar una tensió de 230VAC a la bomba. Quan el circuit rep la senyal del microcontrolador d'activar la bomba el *relé* commuta. Es pot observar en la figura 6.2.1.9.

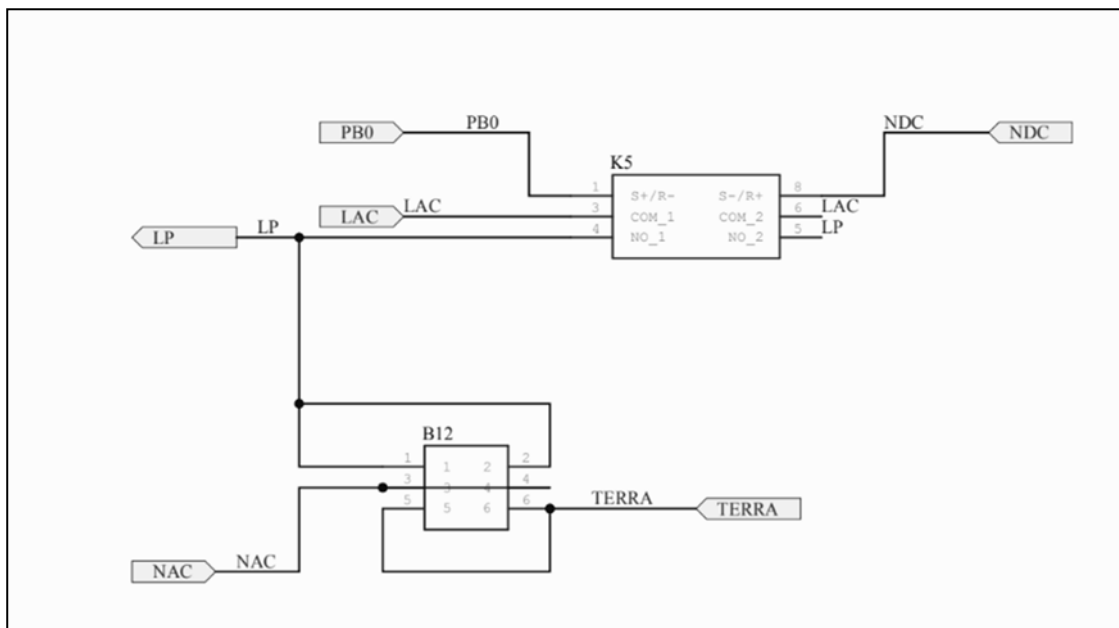




Figura 6.2.1.9. Esquema de la bomba d'impulsió.

A continuació es presenten els diferents components que el formen: el bloc terminal fixe de 3 posicions i el *relé*.

	Tipus: Bloc terminal fixe de 3 posicions (B12).
	Quantitat: 1
	Referència: TBL004V-508-03BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

	Tipus: Relé de 3VDC a la bobina que commuta a 24VDC/230VAC (K5).
	Quantitat: 1
	Referència: G5RL-U1A-E-DC3
	Fabricant: Omron Electronics

Connexió higròstat

La zona de la connexió del *higròstat* s'anomena *higròstat* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta zona s'ubica a la part superior de la placa. Ofereix la possibilitat de connectar un sensor d'humitat, de manera que si el sensor detecta un excés d'humitat en la zona, es deté l'emissió de refrigeració i, per tant, es posa la senyal de sortida dels actuadors, en estat baix.

Està format per un únic bloc terminal de dues connexions i compte amb un port d'entrada VDD i un port de sortida PA11. Es mostra a la següent figura 6.2.1.10.

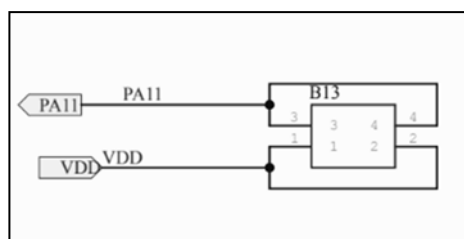



Figura 6.2.1.10. Esquema circuit sensor d'humitat.

A continuació es presenta el component que la forma:

	Tipus: Bloc terminal fixe de 2 posicions (B13).
	Quantitat: 1
	Referència: TBL004V-508-02BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

Control aerotermia

La zona de control d'aerotermia s'anomena *control_aerotermia* als arxius d'Altium Designer. Aquesta zona s'ubica al costat dret de la PCB al costat dels circuits de les zones. I incorpora els terminals necessaris per connectar els contactes secs de les màquines d'aerotèrmia. Aquesta zona és l'encarregada de comunicar a la bomba de calor o màquina d'aerotèrmia l'encesa i l'apagat del sistema; i també, de controlar el mode de funcionament seleccionat a través d'uns contactes trobats en les plaques base dels principals models del mercat. D'aquesta manera s'aconsegueix centralitzar el control tant del circuit primari, que és l'encarregat d'escalfar o refredar l'aigua dels conductes; com el circuit secundari, que és l'encarregat del control i la distribució d'aquesta. L'usuari, per tant, només ha de manipular els cavis en la central de regulació. S'evita que es gestioni l'encesa i l'apagat i també, s'evita el canvi de mode de manera manual a ambdós llocs; a la màquina d'aerotèrmia i a la central. Es compon d'un bloc terminal fixe de quatre connexions i dos relés i compta amb dos ports d'entrada, PA12 i UC_VDC. L'esquema es detalla a la següent figura 6.2.1.11.

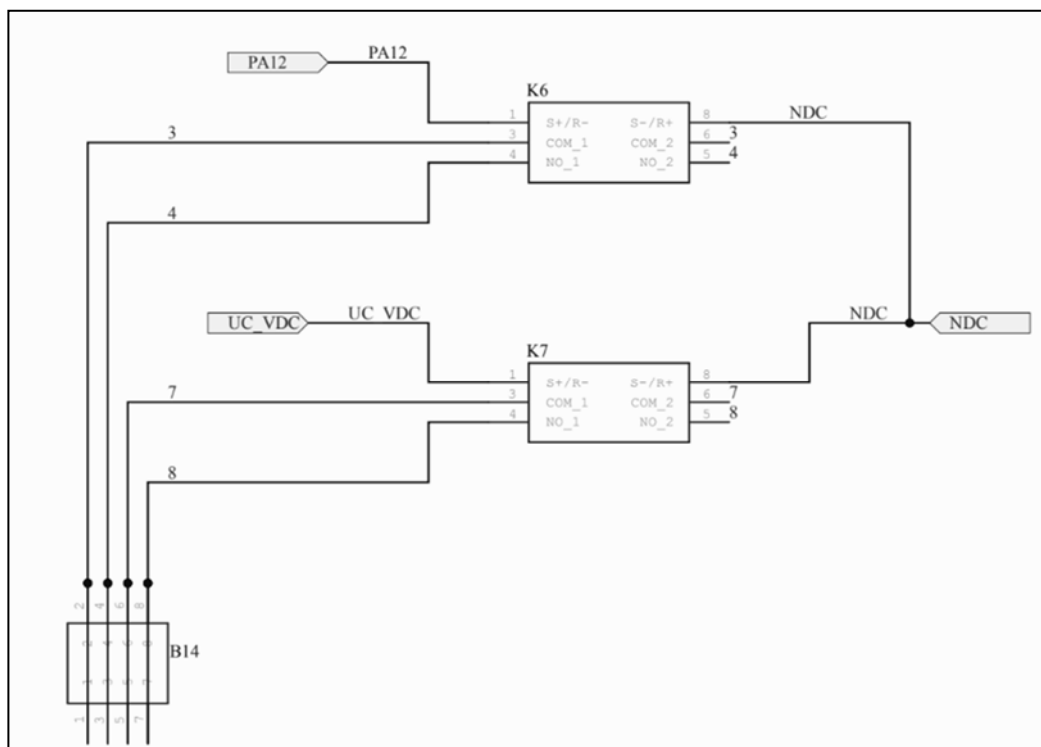




Figura 6.2.1.11. Esquema de les connexions per al control d'aerotèrmia.

A continuació es presenten els diferents components que el formen.

	Tipus: Bloc terminal fixe de 4 posicions (B14).
	Quantitat: 1
	Referència: TBL004V-508-04BE-2GY
	Fabricant: CUI Devices

	Tipus: Relé de 3VDC a la bobina que commuta a 24VDC/230VAC (K6,K7).
	Quantitat: 2
	Referència: G5RL-U1A-E-DC3
	Fabricant: Omron Electronics

Il·luminació

La zona d'il·luminació és anomenada *Il·lumiacio* als arxius d'*Altium Designer*. Aquesta zona es troba ubicada entre la zona del canvi de mode de funcionament i de la connexió de sondes. Acull els indicadors *led* de les zones d'actuació del sistema i del funcionament de la bomba d'impulsió; a més a més de l'encesa i apagat. Per tal de realitzar el muntatge d'aquest circuit ha estat necessari analitzar de manera simple els circuits d'il·luminació.

S'analitzen conjuntament els circuits d'il·luminació de zona i de la bomba d'impulsió, perquè utilitzen el mateix *LED* i la mateixa resistència amb la mateixa tensió d'entrada. I per separat els circuits de mode calor, fred, i encesa i apagat.

En primer lloc, es mostren l'esquema i el circuit d'il·luminació de mode calor, en les figures 6.2.1.12 i 6.2.1.13:

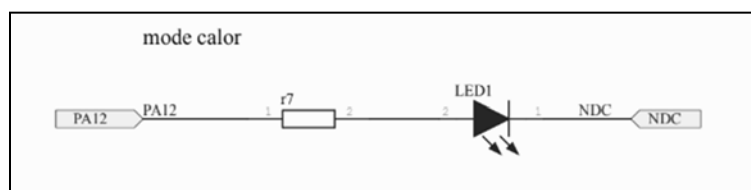


Figura 6.2.1.12. Esquema de la il·luminació de mode calor.

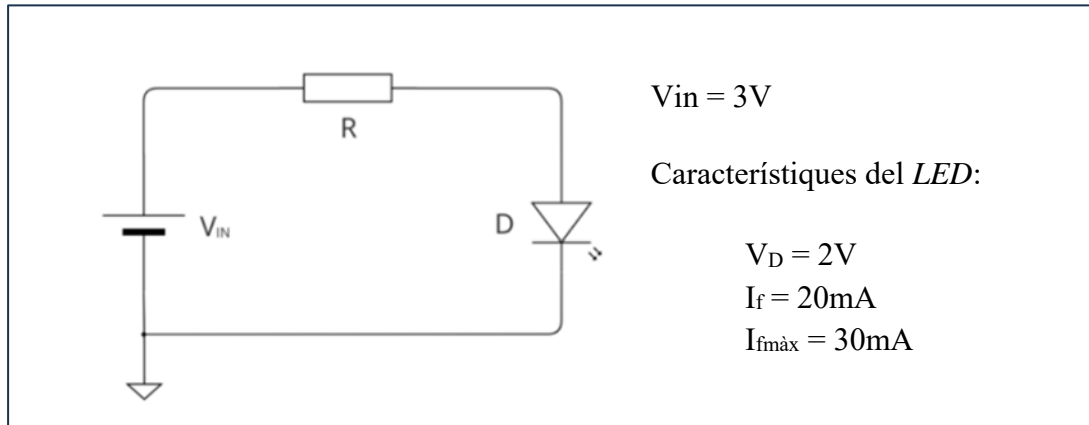


Figura 6.2.1.13. Circuit bàsic d'il·luminació dels leds del mode calor.

Seguidament, es presenten els diferents càlculs per determinar la resistència del circuit.

$$R = \frac{V_{in} - V_D}{I_f} = \frac{3 - 2}{20m} = 50\Omega \quad (6.2.1.1)$$

Adaptant el valor de la resistència necessària als valors estàndard de mercat i tenint en compte una possible caiguda de tensió fins als 2,94V per possibles pèrdues dels circuits, s'ha adoptat:

$$R = 45,3\Omega$$

Amb aquest valor de resistència fixat, la intensitat que circula a través del led és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{3 - 2}{45,3} = 0,022A = 22,22mA \quad (6.2.1.2)$$

Es pot interpretar que la intensitat a través del led és excessivament alta per la intensitat de funcionament requerida, però d'aquesta manera, si la tensió cau fins als 2,94V, el led pot continuar funcionant correctament, ja que la intensitat a través del led és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{2,94 - 2}{45,3} = 0,021A = 21mA \quad (6.2.1.3)$$

La qual cosa també s'ha comprovat en les simulacions.

En segon lloc, es fa l'anàlisi del circuit d'il·luminació del mode fred, mostrats a les figures 6.2.1.14 i 6.2.1.15.

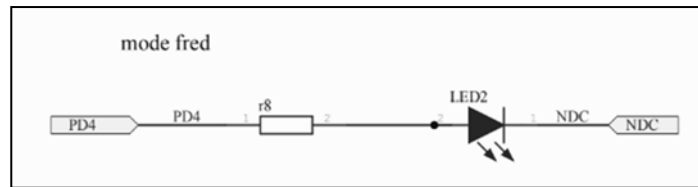


Figura 6.2.1.14. Esquema d'il·luminació de mode fred.

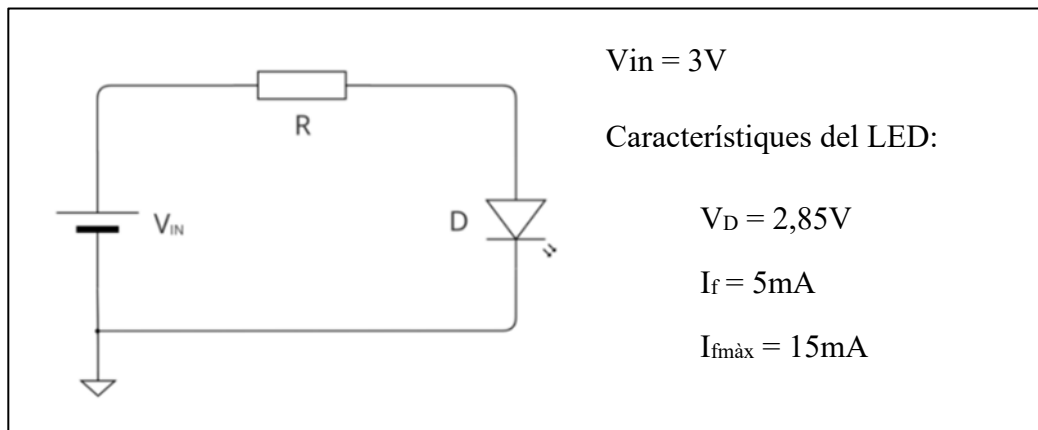


Figura 6.2.1.15. Circuit bàsic d'il·luminació dels leds del mode fred.

Seguidament, es presenten els diferents càlculs per determinar la resistència del circuit.

$$R = \frac{V_{in} - V_D}{I_f} = \frac{3 - 2,85}{5m} = 30\Omega \quad (6.2.1.4)$$

Adaptant el valor de la resistència necessària als valors estàndard de mercat i tenint en compte una possible caiguda de tensió fins als 2,94V per possibles pèrdues dels circuits, s'ha adoptat:

$$R = 15\Omega$$

Amb aquest valor de resistència fixat, la intensitat que circula a través del led és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{3 - 2,85}{15} = 0,01A = 10mA \quad (6.2.1.5)$$

Es pot interpretar que la intensitat a través del led és excessivament alta per la intensitat de funcionament requerida, però d'aquesta manera, si la tensió cau fins als 2,94V, el led pot continuar funcionant correctament, ja que la intensitat a través del led és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{2,94 - 2}{15} = 0,006A = 6mA \quad (6.2.1.6)$$

La qual cosa també s'ha comprovat en les simulacions.

En tercer lloc, es fa l'anàlisi del circuit d'il·luminació d'encesa i apagat mostrat a les figures 6.2.16 i 6.2.17.

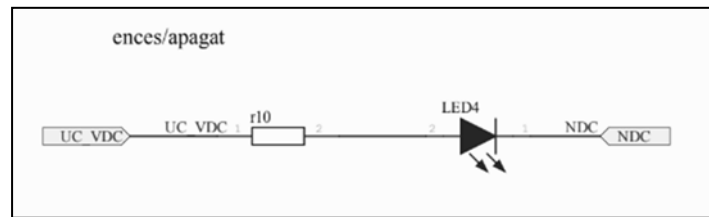


Figura 6.2.1.16. Esquema d'il·luminació d'encesa i apagat.

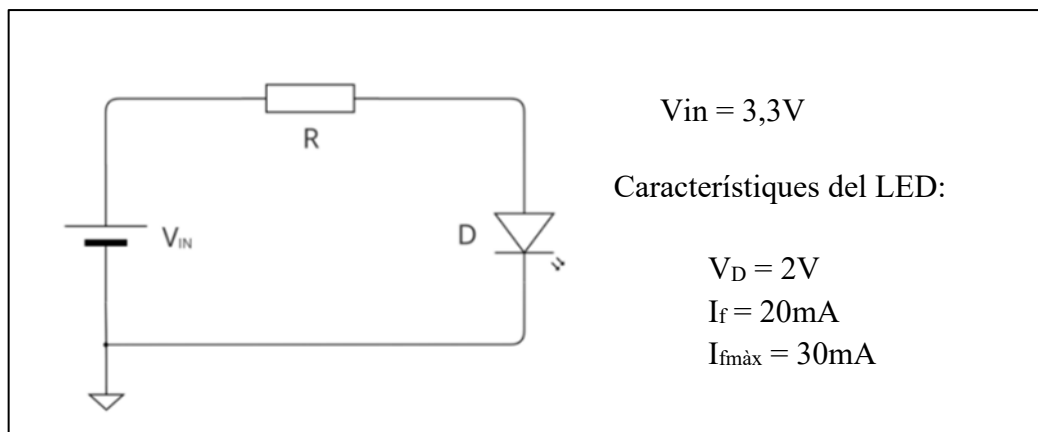


Figura 6.2.1.17. Circuit bàsic d'il·luminació dels *leds* del mode fred.

$$R = \frac{V_{in} - V_D}{I_f} = \frac{3,3 - 2}{20m} = 65\Omega \quad (6.2.1.7)$$

Adaptant el valor de la resistència necessària als valors estàndard de mercat i tenint en compte una possible caiguda de tensió fins als 3V per possibles pèrdues dels circuits, s'ha adoptat:

$$R = 49,9\Omega$$

Amb aquest valor de resistència fixat, la intensitat que circula a través del *led* és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{3,3 - 2}{49,9} = 0,026A = 26mA \quad (6.2.1.8)$$

Es pot interpretar que la intensitat a través del *led* és excessivament alta per la intensitat de funcionament requerida, però d'aquesta manera, si la tensió caigués fins als 3V, el *led* continuaria funcionant correctament, ja que la intensitat a través del *led* és:

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{3 - 2}{49,9} = 0,02A = 20mA \quad (6.2.1.9)$$

La qual cosa també s'ha comprovat en les simulacions.

Finalment, es fa l'anàlisi del circuit d'il·luminació de les zones i la bomba d'impulsió, mostrat a les figures 6.2.1.18 , 6.2.1.19 i 6.2.1.20.

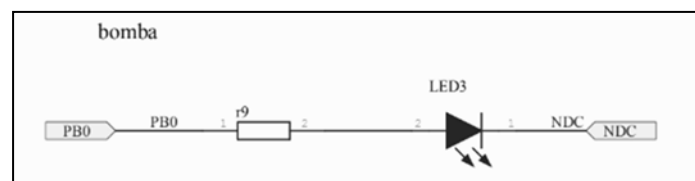


Figura 6.2.1.18. Esquema de la il·luminació de la bomba d'impulsió.

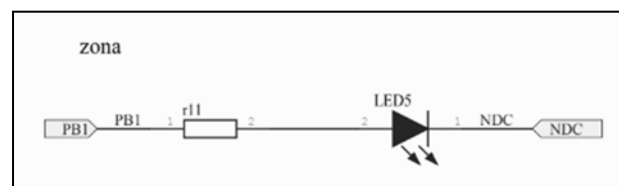


Figura 6.2.1.19. Esquema de la il·luminació d'una zona.

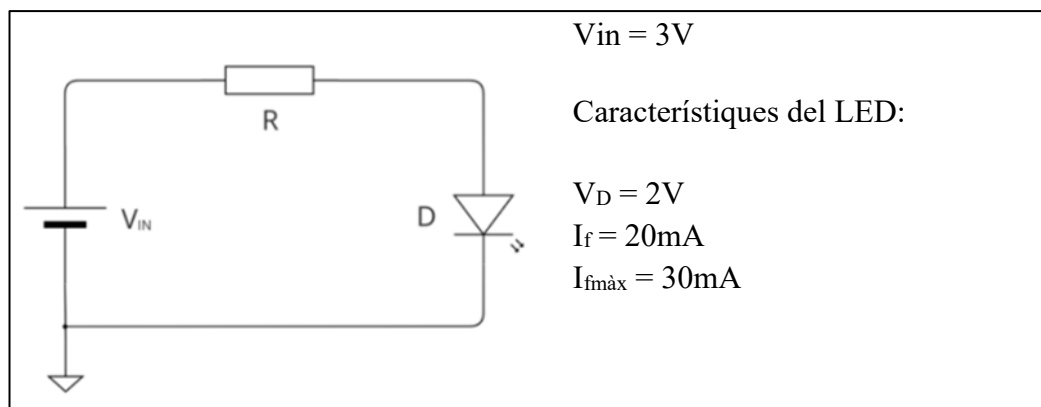


Figura 6.2.1.20. Circuit bàsic d'il·luminació dels leds del mode fred.

Seguidament, es presenten els diferents càlculs per determinar la resistència del circuit.

$$R = \frac{V_{in} - V_D}{I_f} = \frac{3 - 2}{20m} = 50\Omega \quad (6.2.1.10)$$

Adaptant el valor de la resistència necessària als valors estàndard de mercat i tenint en compte una possible caiguda de tensió fins als 2,94 V per possibles pèrdues dels circuits, s'ha adoptat:

$$R = 45,3\Omega$$

Amb aquest valor de resistència fixat, la intensitat que circula a través del *led* és:

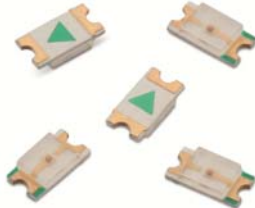
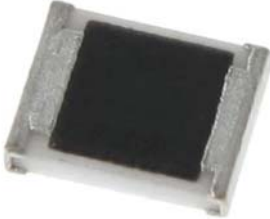

$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{3-2}{45,3} = 0,022 = 22,22\text{mA} \quad (6.2.1.11)$$

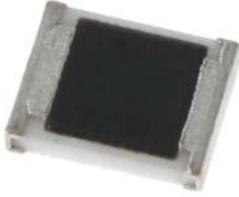
Es pot interpretar que la intensitat a través del *led* és excessivament alta per la intensitat de funcionament requerida, però d'aquesta manera, si la tensió cau fins als 2,94 V, el *led* pot continuar funcionant correctament, ja que la intensitat a través del *led* és:

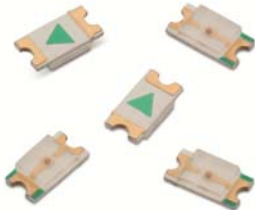
$$I_f = \frac{V_{in} - V_D}{R} = \frac{2,94-2}{45,3} = 0,021\text{A} = 21\text{mA} \quad (6.2.1.12)$$


La qual cosa també s'ha comprovat en les simulacions.

A continuació es presenten els diferents components que el formen:

	Tipus: LED vermell del mode calor (LED1).
	Quantitat: 1
	Referència: 150060RS75000
	Fabricant: Wurth Elektronik
	Tipus: Resistència de 45,3Ω (r7,r9,r11,r12,r13,r14).
	Quantitat: 6
	Referència: ERJ-3EKF45R3V
	Fabricant: Panasonic
	Tipus: LED blau del mode fred (LED2).
	Quantitat: 1
	Referència: LB Q39E-N100-35-1
	Fabricant: ams OSRAM

	Tipus: Resistència de 15 Ω (r8).
	Quantitat: 1
	Referència: ERJ-U0XJ150Y
	Fabricant: Panasonic

	Tipus: LED verd d'encès/apagat, estat de les zones i la bomba d'impulsió (LED3,LED4,LED5,LED6,LED7,LED8,LED9).
	Quantitat: 7
	Referència: 150060VS75000
	Fabricant: Wurth Elektronik

	Tipus: Resistència de 49,9 Ω (r10).
	Quantitat: 1
	Referència: ERJ-UP3F49R9V
	Fabricant: Panasonic

Simulacions dels circuits

Un cop dissenyats els circuits que incorpora el prototip, es verifica el correcte funcionament d'aquests mitjançant dos mètodes diferents: la simulació real en una *protoboard* i la simulació virtual a través de l'entorn *Multisim*.

Inicialment, es comença amb la simulació virtual fent servir el programa *Multisim* per simular de manera aproximada els circuits. *Multisim* és un programari d'aplicació utilitzat per a l'ensenyament de circuits, àmpliament emprat per moltes universitats tècniques i laboratoris d'electrònica de potència, analògica i digital. Permet visualitzar circuits, reafirmar teories amb instruments simulats, realitzar anàlisis avançats i utilitzar milers de components interactius. D'aquesta manera, es va poder certificar els circuits dissenyats.

A continuació, es mostren, en les figures 6.2.1.21, 6.2.1.22 i 6.2.1.23 les simulacions dels circuits realitzades amb els *Leds* amb *Multisim*.

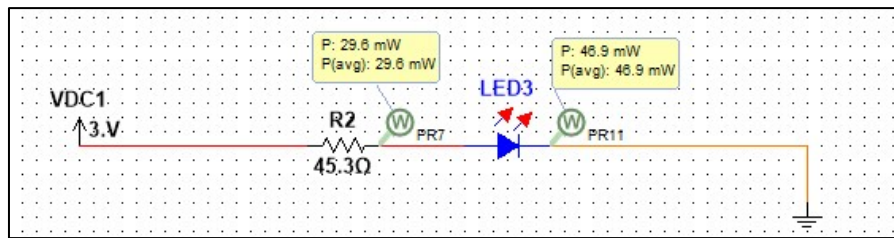


Figura 6.2.1.21: Simulació del circuit de mode calor, de les zones i de la bomba.

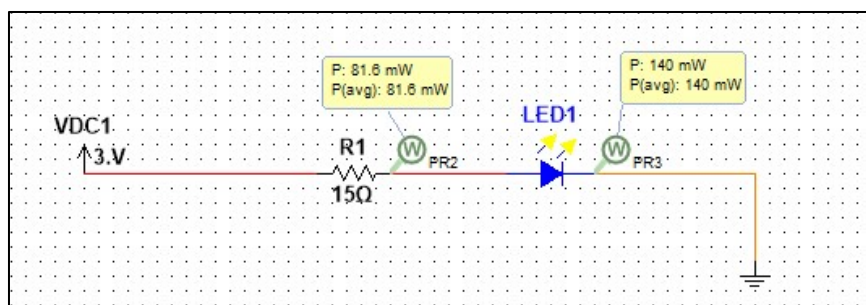


Figura 6.2.1.22. Simulació del circuit de mode fred, el *led* és groc ja que no s'ha trobat un *led* amb les mateixes característiques que el real.

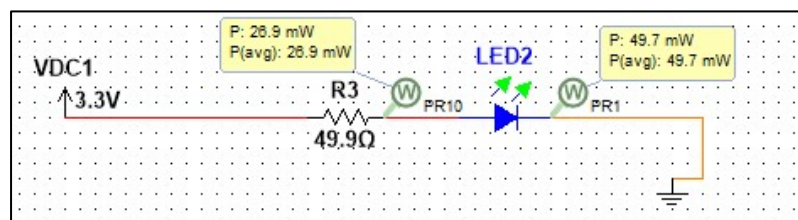


Figura 6.2.1.23. Simulació del circuit d'encesa/apagat.

La resta de circuits s'han comprovat en físic amb els components reals, per aquesta raó no s'ha fet la simulació en entorn *Multisim*.

Un cop simulat en l'entorn virtual, es procedeix al muntatge real, tal i com es pot veure a la figura 6.2.1.24. per la qual s'adquireixen els components necessaris i les eines requerides. En la *protoboard* es recrea el funcionament general de la central, inicialment adaptat al funcionament d'un sol controlador, un sol actuator i el microcontrolador.

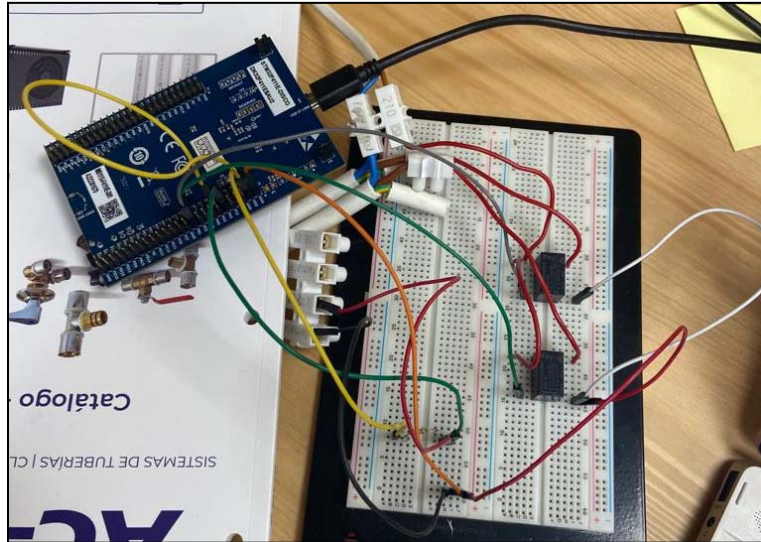


Figura 6.2.1.24. Imatge de la simulació en físic dels circuits.

Disseny de la PCB

A continuació, es detalla el disseny de la PCB, que inclou tant el disseny dels esquemàtics com la construcció del circuit imprès.

Per dur a terme aquesta tasca, s'utilitza un dels programes més populars dins del circuit professional, *Altium Designer*. És un dels programes de disseny de PCB més utilitzats en el món dels circuits impresos [52]. Permet realitzar tot el procés de disseny, des de la modelització dels components fins a la distribució de les connexions, passant pel disseny dels esquemàtics. És l'entorn perfecte per a elaborar aquest projecte, perquè ofereix moltes característiques i funcionalitats, i facilita la generació dels arxius necessaris per a la fabricació i el muntatge del prototip.

Donada la seva avançada naturalesa i la manca d'experiència, és necessari realitzar un curs d'introducció i formació a *Udemy*, una plataforma d'aprenentatge en línia que està dirigida a professionals i impartida per experts en aquest àmbit. Aquest curs consta d'un total de set hores i mitja, distribuïdes en deu vídeos que cobreixen diferents etapes del procés de disseny, i té un cost de 9,99 €.

Un cop realitzat el curs de formació en el programa, s'inicia el procés de disseny.

Prèviament a la creació dels esquemàtics, es procedeix a crear els components que formen part de la unitat. Per a cada component, és necessari crear el seu símbol indicatiu amb els *pins* de

connexió a la llibreria d'esquemàtics, per tal de poder-los col·locar en els diagrames dels mateixos. D'altra banda, és imprescindible crear el *footprint* del component a la llibreria de PCB, que defineix la ubicació del component a la placa de circuit imprès; ja sigui un component de connexió a forats passants o SMD.

A continuació, es vincula el símbol esquemàtic amb el *footprint* i el component queda creat, amb la possibilitat d'afegir un model 3D per proporcionar una visió més aproximada i realista del resultat final de la PCB.

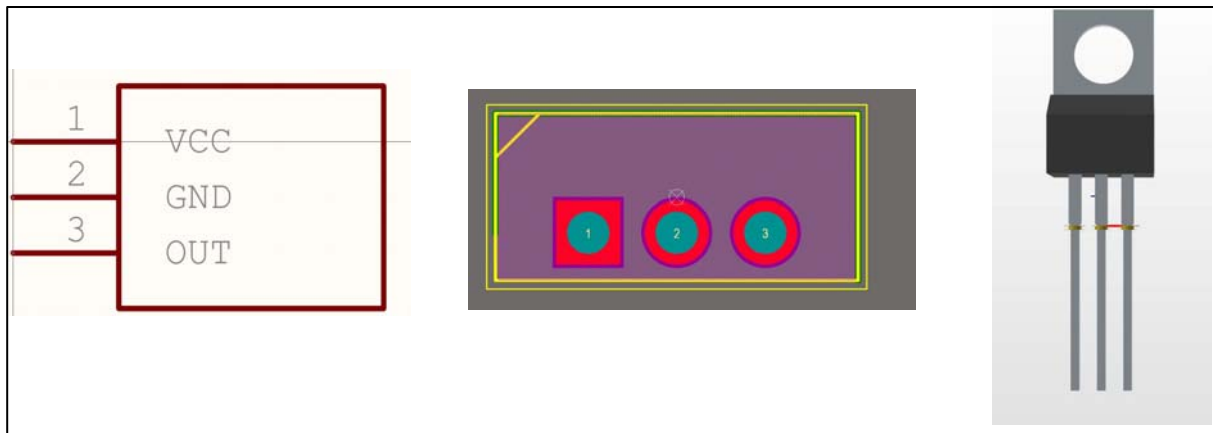


Figura 6.2.1.22. Interfície de creació de components; símbols, *footprints* i 3D.

Tot seguit, un cop creats els components, es procedeix a realitzar els circuits esquemàtics per a cada una de les zones presentades en els apartats anteriors. Degut a la complexitat dels circuits, s'opta per utilitzar un disseny *multi-sheet*. Aquest tipus de dissenys permeten la comunicació de senyals entre projectes formats per diversos esquemàtics; evitant la necessitat de crear un únic esquemàtic per a tota la central, que pot dificultar molt la seva creació i comprensió. El disseny *multi-sheet* segueix una organització jeràrquica dels esquemàtics.

Per crear els circuits, en primer lloc, es crea un esquemàtic general que engloba els esquemàtics individuals de cada zona mitjançant símbols de full. En segon lloc, es realitza el disseny de la placa, que implica la col·locació dels components i l'establiment de les rutes de connexió entre ells. En aquesta etapa, és important determinar els valors adequats per al gruix de les pistes i la distància entre elles, tenint en compte la tensió que hi circularà.

Pel que fa a la distribució dels components, s'ha tingut en compte que aquesta faciliti als instal·ladors dels sistemes de terra radiant la connexió de tots els contactes necessaris. Això implica una organització cuidada per garantir una connexió eficient i segura entre els components i els sistemes de terra radiant.

Finalment, es realitza l'exportació dels documents necessaris per a la fabricació i muntatge de la central. Aquests documents inclouen els arxius *Gerber*, els arxius *NC Drill* i la *BOM (Bill of Materials)*. A més, es pot generar un document que recopili tots els esquemàtics creats, així com una visualització de les diferents zones de la PCB. Tots aquests arxius es proporcionen com a plànols en la documentació del projecte.

A la següent figura 6.2.1.23 es mostren els detalls de la PCB creada.

A continuació , a la figura 6.2.1.23 es mostren els detalls de la PCB:

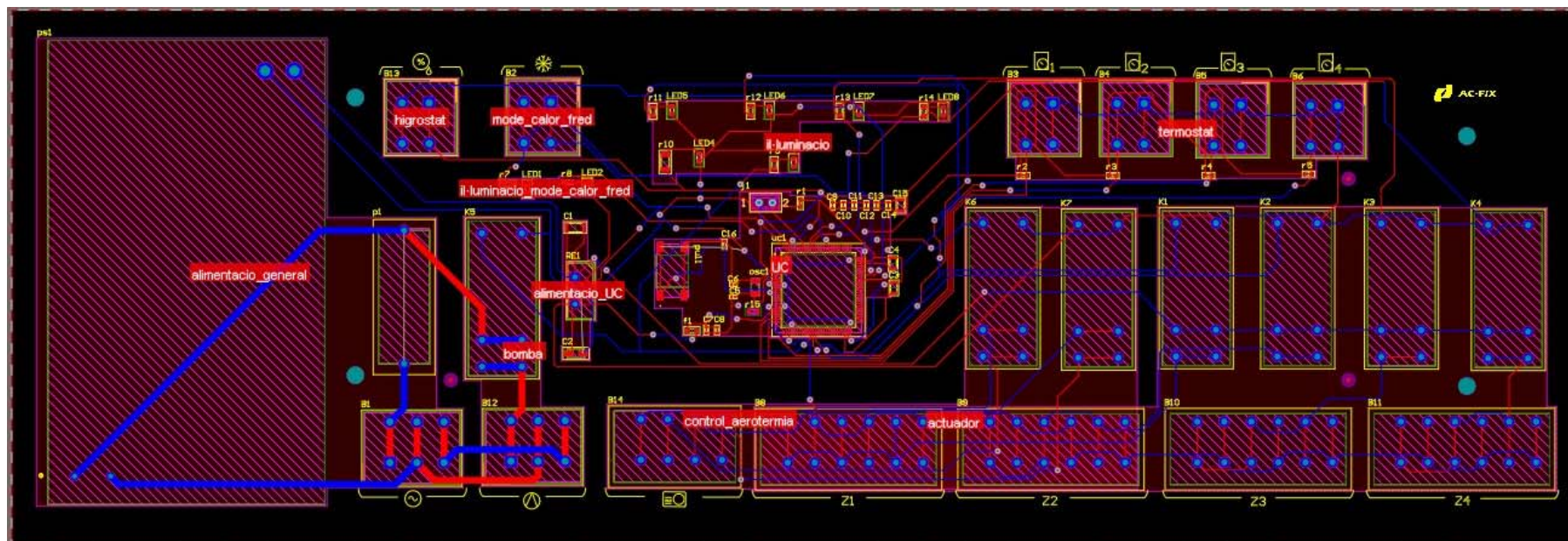


Figura 6.2.1.23. Disseny de PCB creat.

7. Impacte mediambiental

El projecte té com a finalitat el disseny i la creació d'una placa de connexions per millorar l'eficiència del control d'un sistema de climatització per terra radiant, tenint en compte diferents possibilitats per fer front als riscos que es poden presentar.

El prototip es crea amb l'objectiu de minimitzar el consum i les emissions de CO₂ dels habitatges respecte als sistemes de calefacció actualment utilitzats i d'aquesta manera, contribuir a la reducció de l'escalfament global.

A continuació, es detallen els diferents aspectes a tenir en compte en l'impacte mediambiental.

7.1. Energia

Actualment, l'energia de les fonts convencionals es troben en estat de dèficit i a més, són les que contribueixen negativament a l'impacte medioambiental. Aquesta és una de les raons per les que cada vegada són més les persones que prefereixen l'ús d'energies renovables.

Les energies renovables són alternatives energètiques netes, accessibles, sostenibles i fiables que proporciona la naturalesa. És molt necessari potenciar el seu ús per reduir la dependència dels combustibles fòssils i assolir l'objectiu de reduir l'impacte negatiu del canvi climàtic en un 50% per al 2030 i arribar al 0% net, aconseguint la neutralitat neta d'emissions l'any 2050 [53,54]. En aquest sentit, és necessari que quan es dissenya el sistema de climatització d'una llar, cal fer una bona elecció de la font d'energia per reduir al màxim l'impacte al medi ambient.

La central de regulacions dissenyada en aquest projecte controla el sistema de distribució dels sistemes de climatització per terra radiant. Gestiona els senyals d'activació i de pausa del sistema, cercant l'estabilitat en les corbes d'actuació i la inèrcia dels sistemes de terra radiant per aconseguir un funcionament més eficient i contribuir a reduir l'impacte mediambiental.

Relacionat amb un dels objectius del projecte, es pretén aconseguir un prototip amb funcions d'alta gamma a un preu competitiu, per a que pugui ser usat tant en les noves construccions

com en les rehabilitacions de sistemes de climatització antics. D'aquesta manera es pot arribar a més usuaris i si ja tenen sistema de climatització poc eficient en facin el canvi. A l'instal·lar el terra radiant juntament amb una màquina d'aerotèrmia o generador, el disseny permet un funcionament a baixes temperatures de calefacció, assolint un bon nivell d'eficiència energètica i consumint poca energia. A l'hivern, per exemple, per escalfar l'habitatge és suficient tenir un subministrament d'aigua a una temperatura de 35 a 45 graus [55].

A més a més, es preveu que en un futur es disposi l'opció de desenvolupar un prototip del sistema de terra radiant a partir del consum únic d'energies renovables. Ara bé, s'ha de tenir en compte que l'electricitat de la xarxa a la qual la majoria de PCB van connectades, com la dissenyada en el projecte, prové ja d'una energia que pot ser actualment de fonts renovables o de combustibles fòssils, depenent de la regió i la disponibilitat de recursos de cada zona.

El projecte té com a premissa tenir cura dels aspectes de disseny que afecten la sostenibilitat i contribueixen a minimitzar l'impacte mediambiental.

7.2. Recursos

Els recursos són els components o materials necessaris per al disseny del sistema. Per l'abastiment electrònic s'ha tingut en compte la traçabilitat i la conscienciació respecte dels drets socials de les persones que treballen en l'empresa d'on provenen, d'on es comercialitzen o fabriquen els components electrònics. S'han valorat les empreses compromeses amb el medi ambient, però també amb el tracte de les persones qui col·laboren en el procés. En aquest cas, l'empresa *Mouser Electronics*, escollida com a proveïdora, és una empresa amb una política activa en conscienciació ambiental i responsabilitat social corporativa. L'empresa *Mouser Electronics*, té cura en aconseguir diversitat en la plantilla de treballadors i treballadores i no extreure minerals per la fabricació de certs components que provenen de zones en conflicte i/o on es violen els drets humans [56, 57]. A més a més, l'empresa posa a l'abast informació que permet identificar les conseqüències que causen els components adquirits al medi ambient en tots els aspectes.

Per altra part, la mida de la PCB també s'ha de tenir en compte. Si es redueix el número de components, la mida necessària serà menor i conseqüentment el seu consum també serà menor.

A més a més, és important tenir en compte els materials utilitzats en la construcció de les PCB, com el coure, el plàstic, el vidre i resines entre altres. En aquest cas, es cerca una selecció de materials sostenibles i optar per fonts d'energia respectuoses amb el medi ambient. Avui en dia, les PCB utilitzen fibra de vidre degut a l'alta resistència mecànica i tèrmica, i s'utilitza coure per les pistes conductores a més de diferents resines i capes de material dielèctric [58].

En la fabricació de les plaques, els proveïdors utilitzen diversos productes químics i metalls pesants que són perjudicials pel medi ambient i la salut de les persones si no s'usen bé. Aquest fet provoca un impacte negatiu respecte a les emissions de gas d'efecte hivernacle, generació de residus i contaminació del terra i aigua [59].

I finalment, un altra dels criteris destacables per escollir l'empresa on es du a terme la producció de la placa és que aquesta sigui local, per incentivar el consum i l'economia local.

7.3. Residus

Un dels objectius destacables del projecte és el de no generar residus contaminants i perjudicials per al medi ambient. Com bé se sap tot producte té una vida útil i en un moment determinat deixa de funcionar com es vol a causa d'un mal funcionament, que pot ser provocat per la falta de manteniment o per la desactualització del sistema. Per aquesta raó és important tenir en compte l'ús dels materials per al disseny de la placa, i escollir sempre que es pugui, els que siguin poc perjudicials per al medi ambient i sobretot que allarguin la seva vida útil el màxim possible.

Els residus electrònics representen actualment un dels tipus de residus que estan experimentant un major augment en el món, per una banda per la seva vida útil curta que ofereixen i per altra per la no possibilitat de reparació. L'obsolescència programada està sent aplicada en tots els àmbits tecnològics per les vendes i l'interès propi de les grans empreses [60]. Això porta a no poder reciclar ni reutilitzar cap d'aquests.

Per tant, és de vital importància gestionar de forma responsable l'eliminació de residus, a més, de complir les regulacions ambientals. Sobretot, cal evitar deixar els residus perillosos en vertaders o en el medi ambient. Les PCB i en concret certs components electrònics que la

formen poden ser difícils de reciclar, si es cremen o es tiren en vertaders poden acabar alliberant gasos tòxics a l'atmosfera [60]. En aquest sentit cal gestionar els residus de forma responsable tenint cura i essent conscients dels possibles afectes negatius que poden generar.

En el desenvolupament del projecte es proposa col·laborar amb l'empresa *Pro-Circuits* per a la fabricació del circuit imprès i amb *Montajes Electrónicos Romar* per al muntatge dels components sobre aquest [61,62]. Un dels aspectes que ha tingut més pes per obrir una via de col·laboració amb aquestes empreses per a la realització d'aquest projecte és el fet de ser empreses locals, petites i de tracte personal. Col·laborant amb empreses d'aquest tipus i evitant el consum de serveis donats per empreses de caràcter multinacional o franquícies s'aconsegueix afavorir el consum de serveis locals i s'ajuda a les petites empreses a introduir les seves produccions de nivell més petit però de gran qualitat a projectes amb enfocament de producció internacional.

La tecnologia electrònica actual cerca obtenir dissenys més eficients amb relació a l'ús de l'energia i a l'ús de materials, tenint en compte en tot moment l'impacte mediambiental que provoquen per reduir-lo al màxim possible [63].

8. Perspectiva de gènere

L'anàlisi de la perspectiva de gènere permet obtenir una visió més completa de la realitat social des d'un punt de vista més crític sobre les desigualtats i les diferències de gènere que poden existir, així com els rols i les expectatives que la societat assigna a cada gènere. Aquestes diferències i desigualtats influeixen en diversos aspectes de la vida social, cultural i política. Aquest apartat posa de manifest les desigualtats que afecten de manera diferenciada a dones i homes, com també a persones que no s'identifiquen dins del binomi de gènere tradicional [64].

Si es té en compte la perspectiva de gènere en el disseny de qualsevol sistema, es poden desenvolupar polítiques i practiques més justes i inclusives i contribuir a la creació d'una societat més igualitària i lliure de discriminació.

Respecte al disseny de la placa de regularització, al ser un component tècnic no discrimina de forma directa en qüestió de gènere a qui la utilitza. El seu disseny i implementació s'han previst a partir de conceptes i símbols universals que qualsevol persona amb els estudis i formació necessaris pot entendre. Ara bé, es posa de manifest que en la indústria de les PCB i en el sistema de climatització d'un l'habitatge cal tenir en compte diferents aspectes que es detallen a continuació.

Primer de tot, és evident que en l'àmbit de l'indústria de la tecnologia existeix la necessitat de prendre consciència sobre la necessitat de fer front a diferències de gènere i fomentar la diversitat i inclusió. De la població que treballa en el sector de la tecnologia només el 23% són dones [65]. A nivell global, actualment s'estan implementant iniciatives per augmentar el percentatge de dones en graus *STEAM* (ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques), que inclouen l'electrònica i, consegüentment s'inclouen els coneixements necessaris pel desenvolupament del projecte presentat [66]. També, s'està afavorint que les empreses desenvolupin polítiques i pràctiques per promoure un ambient de treball més inclusiu i equitatiu per totes les persones sense tenir en compte el seu gènere. Les indústries tecnològiques que utilitzen les PCB s'han d'incloure en un procés de canvi per fer front a les diferències de gènere i promoure la inclusió i diversitat.

Respecte a la climatització necessària d'una llar que es pretén regular a través del terra radiant, s'han observat certes diferències segons el sexe de la persona. Segons un estudi de *Nature*

CLimate Change els homes i les dones no regulen de la mateixa manera la temperatura, això es degut a les diferències fisiològiques de cadascú dependent del sexe de la persona. Per la mateixa activitat el home genera més calor que la dona [67]. El sistema proposat regula la temperatura en funció de l'usuari que escull els paràmetres adequats a les seves necessitats, independentment del gènere.

D'altra banda, no es contemplen estudis i/o problemes referents a les plaques de regularització o sobre el terra radiant que puguin causar efectes perjudicials en la salut de les persones, ni en cap altra àmbit, indistintament del seu gènere i/o sexe [68].

En els sistemes de calefacció de terra radiant, cal tenir cura en la temperatura màxima que pot arribar a tenir el terra, si aquesta arriba a ser molt alta pot arribar a provocar problemes vasculars en les cames de les persones. Ara bé, aquesta problemàtica s'ha solucionat amb la regulació de la temperatura màxima. Segons la OMS (Organització Mundial de la Salut), *“Este suelo radiante no permite aumentar la temperatura a más de lo que la OMS considera saludable para nuestros pies. Y, siempre, con una temperatura inferior a la que tiene nuestro cuerpo”*, és més, per altra banda es posa en evidència els efectes positius i directes sobre la salut: *“ el suelo radiante es beneficioso para determinadas alergias, enfermedades de la piel, asma y otras enfermedades respiratorias”* [69,70 ,71]

9. Planificació

9.1. Planificació inicial

A la taula 9.1.1 es mostren les diferents etapes a executar al llarg del projecte amb la durada de treball de cadascuna d'elles en unitats de dies i les etapes anteriors i precedents a cadascuna, facilitant el disseny del diagrama de Gantt del projecte mostrat més endavant.

El temps total del projecte és de 400 hores, per tant, si es treballen vuit hores un dia, la durada total del projecte és de 50 dies. En la taula 9.1.1 es mostra la planificació del projecte on la data d'inici és el 9 de gener d'aquest any.

Pels càlculs a realitzar s'estableix un preu per hora equivalent al d'una enginyera junior en electrònica industrial i automàtica de 40€/hora, exceptuant per el procés de disseny de la PCB i programació del microcontrolador on el preu fixat és de 60€/hora.

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
▲ TFG	50 days	Mon 9/1/23	Tue 9/5/23	
Inici	0 days	Mon 9/1/23	Mon 9/1/23	
▶ Estudi sobre el terra radiant	7 days	Mon 9/1/23	Tue 17/1/23	
▶ Programació UC	11 days	Wed 18/1/23	Tue 7/3/23	3
▶ Anàlisi i disseny de circuits	6 days	Wed 8/3/23	Wed 15/3/23	8
▶ Simulacions de funcionament amb UC	3 days	Thu 16/3/23	Mon 3/4/23	14
▶ Disseny del prototip de la placa amb Altium	12 days	Tue 4/4/23	Mon 24/4/23	17
▶ Fabricació i proves del funcionament de la placa	6 days	Tue 25/4/23	Tue 2/5/23	19
▶ Documentació tècnica	2 days	Wed 3/5/23	Thu 4/5/23	23
Seguiment i control del projecte	50 days	Mon 9/1/23	Tue 9/5/23	
Final	0 days	Tue 9/5/23	Tue 9/5/23	28;31

Taula 9.1.1. Planificació de les etapes de desenvolupament del projecte.

Primer de tot, tal i com s'observa a la taula 9.1.1. es realitza un estudi sobre el sistema de control de la temperatura, amb l'objectiu de recopilar informació del sector de la climatització, especialment en els sistemes per terra radiant.

A continuació, es comença amb l'anàlisi i disseny dels circuits, tant dels circuits físics que s'integren al sistema com dels no físics per a la posterior programació del microcontrolador, i fer els càlculs pertinents.

La tercera tasca consisteix en la programació del microcontrolador, en la que es programen els circuits digitalitzats i es contempla la realització de diverses iteracions per aconseguir la implementació d'un programa el més eficient possible.

Després, es preveu realitzar les simulacions de funcionament amb el microcontrolador. Aquesta etapa té com a objectiu garantir el correcte funcionament dels circuits i verificar que el desenvolupament del programa del microcontrolador és l'adequat. A més, si en el transcurs de les comprovacions i verificacions es detecta algun error, es preveuen actuacions immediates per corregir-los.

Com a cinquena tasca, es contempla el disseny del prototip de la placa utilitzant el programa de disseny de PCB anomenat *Altium Designer*.

A continuació, es procedeix amb la fabricació i les proves del funcionament de la placa. Després de finalitzar el disseny de la placa es fabrica externament, per un proveïdor. I es realitzen les proves necessàries per identificar possibles errors o mal funcionaments.

Finalment, es realitza la documentació tècnica. Una vegada s'ha desenvolupat i verificat el funcionament del prototip es prepara la fitxa tècnica per a la seva comercialització.

Paral·lelament a les tasques anteriors, es duu a terme el seguiment i el control del desenvolupament del projecte, i la redacció de la documentació del projecte

A continuació, en les figures 9.1.2. i 9.1.3. es mostren el diagrama de Gantt del projecte per detallar de forma més clara la planificació i l'ordre de les tasques. En el diagrama l'eix horitzontal representa el temps, on es mostren dividits per dies els mesos de durada del projecte. I a l'eix vertical es mostren les diferents tasques del projecte. Cada tasca es representa amb una barra que s'inicia en la data prevista i s'allarga fins la data de finalització prevista. La longitud indica la durada estimada de cada tasca.

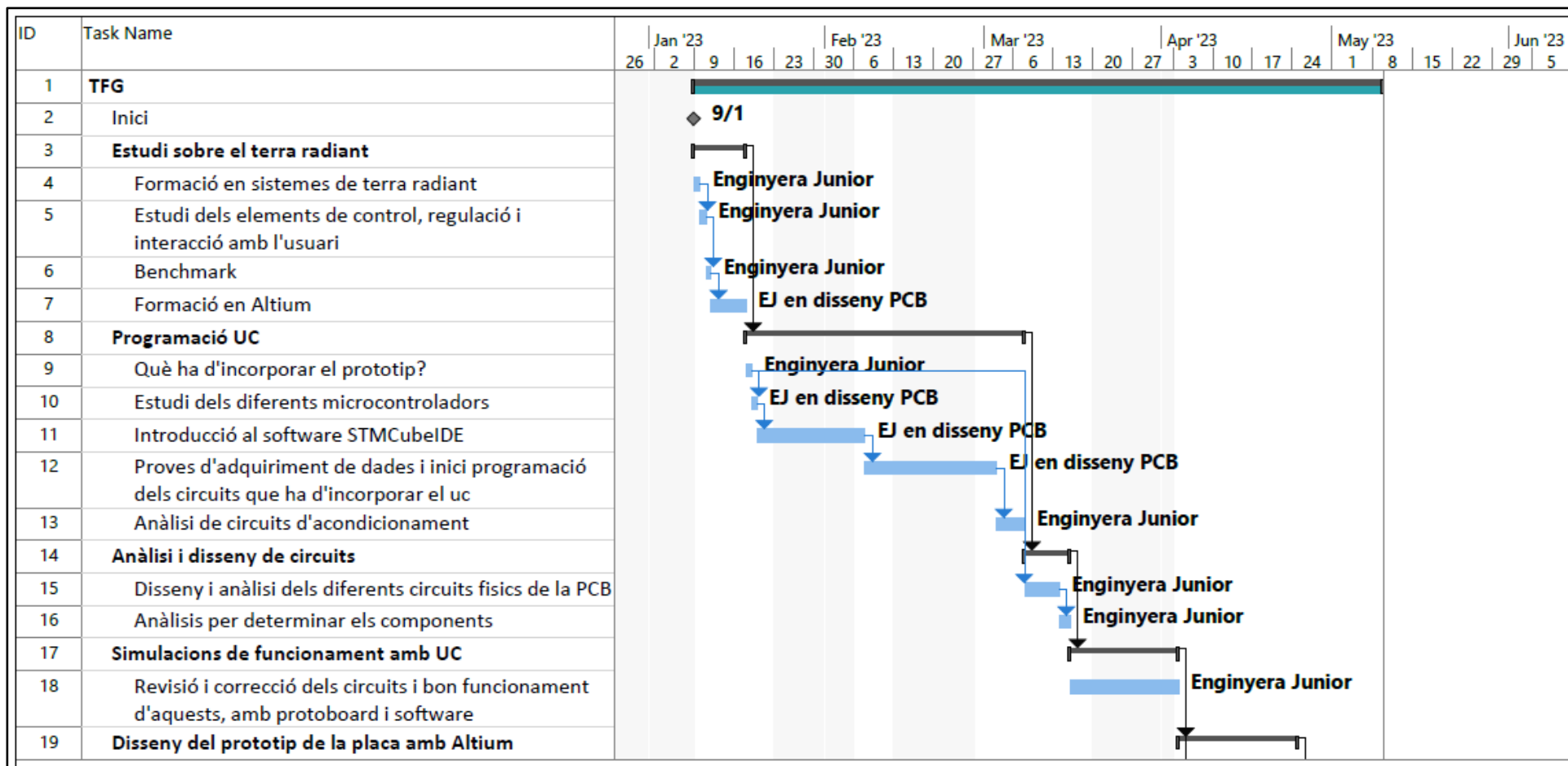


Figura 9.1.2. Diagrama de Gantt de la planificació, una forma més visual de veure la distribució de les tasques. Part I

En la figura 9.1.2 mostrada anteriorment, la cinquena etapa anomenada “*Disseny del prototip de la placa amb Altium Designer*” s’ha estès més del temps previst a causa del calendari acadèmic, que inclou els exàmens finals del segon trimestre.

Després de l’explicació general de la planificació es detallen les etapes i s’especifiquen les tasques a desenvolupar en la planificació inicial realitzada.

Per al desenvolupament del projecte es comença tal i com s’observa a la taula 9.1.2, amb un primer estudi sobre el terra radiant, amb l’objectiu d’assolir uns coneixements introductoris del sector de la climatització. Aquesta fase d’estudi, engloba la formació en els sistemes de terra radiant, l’estudi dels circuits secundaris del sistema de terra radiant que inclou els diferents elements de control, de regulació i de l’interacció amb l’usuari. A continuació, es dur a terme una tasca d’investigació de *benchmark* per saber quins productes similars hi ha al mercat, i quins són els competidors principals. També, inclou la formació prevista de l’entorn de desenvolupament *Altium Designer*.

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
▲ TFG	50 days?	Mon 9/1/23	Tue 9/5/23		
Inici	0 days	Mon 9/1/23	Mon 9/1/23		
▲ Estudi sobre el terra radiant	7 days	Mon 9/1/23	Tue 17/1/23		
Formació en sistemes de terra radiant	1 day	Mon 9/1/23	Mon 9/1/23		Enginyera Junior
Estudi dels elements de control, regulació i interacció amb l'usuari	1 day	Tue 10/1/23	Tue 10/1/23	4	Enginyera Junior
Benchmark	1 day	Wed 11/1/23	Wed 11/1/23	5	Enginyera Junior
Formació en Altium	4 days	Thu 12/1/23	Tue 17/1/23	6	EJ en disseny PCB

Taula 9.1.2. Planificació de la primera etapa, estudi sobre el terra radiant.

Aquesta primera fase té com a finalitat adquirir coneixements generals sobre el funcionament de la climatització per terra radiant, per agilitzar i focalitzar el procés de disseny dels circuits destinats a les diferents funcions que s’incorporen en la central de regulació.

Com a segona etapa, tal i com s'observa a la taula 9.1.3. es comença a treballar amb el nucli del projecte, la programació del microcontrolador.

# Programació UC	11 days	Wed 18/1/23	Tue 7/3/23	3	
Què ha d'incorporar el prototip?	1 day	Wed 18/1/23	Wed 18/1/23		Enginyera Junior
Estudi dels diferents microcontroladors	1 day	Thu 19/1/23	Thu 19/1/23	9	EJ en disseny PCB
Introducció al software STMCubeIDE	3 days	Fri 20/1/23	Tue 7/2/23	10	EJ en disseny PCB
Proves d'adquiriment de dades i inici programació dels circuits que ha d'incorporar el uc	3 days	Wed 8/2/23	Thu 2/3/23	11	EJ en disseny PCB
Anàlisi de circuits d'acondicionament	3 days	Fri 3/3/23	Tue 7/3/23	12	Enginyera Junior

Taula 9.1.3. Planificació de la segona etapa, programació del microcontrolador.

En aquesta fase es programen els circuits digitalitzats i es contempen vàries iteracions per tal d'implementar un programa funcional i eficient. Abans d'iniciar la programació, és essencial establir els requisits necessaris per dur a terme el projecte, així com tenir informació dels circuits que el conformen inclosa en la tasca inicial.

A continuació es preveu realitzar un estudi d'anàlisi dels diferents microcontroladors disponibles al mercat, per escollir el millor.

També s'inclou la formació de l'entorn de desenvolupament *STMCubeIDE* necessari per programar el microcontrolador. Aquest entorn de desenvolupament és un entorn nou i no conegut d'altres assignatures o projectes.

En aquesta etapa també es realitzen proves de diferents circuits d'adquisició de dades i es dissenyen els circuits necessaris. S'assegura el correcte funcionament dels circuits digitals i es programa i verifica el correcte desenvolupament del programa del microcontrolador. A més, també està previst que en cas de detecció d'errors prendre accions per trobar una solució.

Per últim, en aquesta etapa s'inclou l'anàlisi dels circuits de condicionament, donat que en el desenvolupament de la programació del microcontrolador és necessari per assegurar el funcionament.

La tercera etapa de la planificació, tal i com s'observa a la taula 9.1.4, és l'anàlisi i disseny de circuits. En aquesta fase, s'analitzen i dissenyen els circuits físics que integren el sistema, i es

realitzen els càlculs pertinents. Durant aquesta etapa, es realitzen els càlculs electrònics necessaris per determinar les característiques dels components que formen la placa.

Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
▲ Anàlisi i disseny de circuits	6 days	Wed 8/3/23	Wed 15/3/23	8	
Disseny i anàlisi dels diferents circuits físics de la PCB	4 days	Wed 8/3/23	Mon 13/3/23	9	Enginyera Junior
Anàlisis per determinar els components	2 days	Tue 14/3/23	Wed 15/3/23	15	Enginyera Junior

Taula 9.1.4. Planificació de la tercera etapa, anàlisi i disseny de circuits.

La quarta etapa, té com objectiu assegurar el bon funcionament dels circuits i rectificar els errors que es puguin trobar. Es duen a terme les simulacions de funcionament tant en *protoboard* com en software *Multisim*. La descripció de l'etapa es mostra en la taula 9.1.5.

▲ Simulacions de funcionament amb UC	3 days	Thu 16/3/23	Mon 3/4/23	14	
Revisió i correcció dels circuits i bon funcionament d'aquests, amb protoboard i software	3 days	Thu 16/3/23	Mon 3/4/23		Enginyera Junior

Taula 9.1.5. Planificació de la quarta etapa, simulacions de funcionament amb UC.

La cinquena etapa mostrada a la taula 9.1.6. es desenvolupa el disseny del prototip de la placa en l'entorn de desenvolupament *Altium*.

▲ Disseny del prototip de la placa amb Altium	12 days	Tue 4/4/23	Mon 24/4/23	17	
Estudi de la norma ICP 2221	1 day	Tue 4/4/23	Tue 4/4/23	17	EJ en disseny PCB
Disseny esquemàtics dels circuits	4 days	Mon 10/4/23	Thu 13/4/23	20	EJ en disseny PCB
Disseny PCB	7 days	Fri 14/4/23	Mon 24/4/23	21	EJ en disseny PCB

Taula 9.1.6. Planificació de la cinquena etapa, disseny del prototip de la placa amb *Altium*.

El disseny de la placa de circuit imprès es realitza amb l'ús d'un programa de disseny de PCB anomenat *Altium Designer*. I en aquesta fase també es realitza un estudi de les diferents normes IPC que s'apliquen pel disseny d'una PCB.

En aquesta etapa, a continuació es preveu dur a terme el disseny de les components que s'han d'incorporar, que inclou tant el disseny dels símbols esquemàtics com el *footprint* i el model 3D d'alguns d'ells. A continuació, es creen els esquemàtics de cada part del prototip, i per últim, es desenvolupa el disseny de la PCB, determinant la posició de les components i el traç de les pistes.

En la sisena etapa tal i com es mostra a la taula 9.1.7, es prossegueix amb la fabricació i les proves del funcionament de la placa.

▲ Fabricació i proves del funcionament de la placa	6 days	Tue 25/4/23	Tue 2/5/23	19	
Comparar diferents fabricues per la fabricació i muntatge de la PCB	1 day	Tue 25/4/23	Tue 25/4/23		Enginyera Junior
Fabricació circuit imprès	2 days	Wed 26/4/23	Thu 27/4/23	24	Enginyera Junior
Muntatge dels components	2 days	Fri 28/4/23	Mon 1/5/23	25	Enginyera Junior
Comprovació del correcte funcionament	1 day	Tue 2/5/23	Tue 2/5/23	26	Enginyera Junior

Taula 9.1.7. Planificació de la sisena etapa, fabricació i proves de funcionament de la placa.

Una vegada completat el disseny, es preveu la fabricació i muntatge a través d'un proveïdor extern, seleccionat prèviament seguint criteris com el cost, la qualitat i l'impacte ambiental. A més a més, es realitzen proves per detectar possibles errors o mal funcionaments.

En la setena etapa tal i com es mostra a la taula 9.1.8 es realitza la documentació tècnica.

▲ Documentació tècnica	2 days	Wed 3/5/23	Thu 4/5/23	23	
Pressupost final (estudi economic)	1 day	Wed 3/5/23	Wed 3/5/23		Enginyera Junior
Fitxa tècnica + manual de l'usuari	1 day	Thu 4/5/23	Thu 4/5/23	29	Enginyera Junior
Seguiment i control del projecte	50 days	Mon 9/1/23	Tue 9/5/23		Enginyera Junior
Final	0 days	Tue 9/5/23	Tue 9/5/23	28;31	

Taula 9.1.8. Planificació de la setena i vuitena etapa, documentació tècnica i seguiment i control del projecte.

I finalment, una vegada creat i verificat el funcionament del prototip per a la seva comercialització, es crea la fitxa tècnica i es prepara el pressupost final per al desenvolupament d'una placa de control de la climatització per terra radiant.

Paral·lelament a les tasques anteriors, es realitza el seguiment i el control continu del desenvolupament del projecte, que inclou la redacció de la memòria.

9.2. Planificació final

La planificació inicial s'ha vist afectada per desviacions en el procés de desenvolupament de les tasques. Pel que fa a la primera etapa, aquesta s'ha completat sense cap retard. S'ha realitzat una formació sobre els sistemes de terra radiant, un estudi sobre els elements que formen el sistema, un *benchmark* per tenir en compte els competidors i, finalment, una formació en *Altium Designer* per adquirir els coneixements necessaris per dur a terme el projecte.

En la segona etapa, s'han realitzat les primeres tasques segons el programa establert, amb excepció de les proves d'adquisició de dades i l'inici de la programació dels circuits que s'han d'incorporar en el microcontrolador. Aquesta última tasca s'ha allargat a causa de la dificultat de programació, el nou entorn de desenvolupament i la llarga durada de les proves. A més, la naturalesa iterativa de comprovar el codi per millorar el seu funcionament i aconseguir els resultats desitjats ha contribuït la dedicació de més hores de les previstes.

Tanmateix, s'ha iniciat l'anàlisi i disseny dels circuits segons la planificació. I la part de disseny del prototip de la placa amb l'ús d' *Altium Designer* també s'ha dut a terme dins del termini establert.

En conseqüència, a causa del retard en la programació, no s'ha completat la fabricació ni les proves de funcionament del prototip dins del termini inicialment previst.

10. Pla de contingència

Per evitar problemes que es puguin ocasionar i preveure les incidències, es planteja un pla de contingència on es controla el camí crític del projecte per a que no es vegi afectat i en cas que succeeixi, poder reaccionar a temps.

Per al desenvolupament del pla de contingència, s'han identificat els possibles riscos que poden succeir durant el desenvolupament i execució global del projecte. A més, s'ha avaluat la probabilitat i l'impacte associats a cada un dels riscos identificats prèviament.

10.1. AMFE del producte

Seguidament, per donar suport a l'anàlisi de riscos basat en el pla de contingència, s'ha dut a terme l'anàlisi modal de fallades i efectes (AMFE), una eina fonamental per a la gestió de riscos en el desenvolupament de productes. Aquesta eina ajuda a identificar els possibles punts febles i a prendre les mesures adequades per millorar la qualitat i la fiabilitat del producte, reduint els riscos i augmentant la satisfacció dels clients.

Per reduir la gravetat de les vulnerabilitats en el desenvolupament del projecte, és important centrar-se en els riscos identificats i els seus índexs IPR (Índex de Probabilitats de Risc). Aquests índexs permeten realitzar un anàlisi dels riscos i avaluar la probabilitat que succeeixin. Els riscos amb IPR més alts són els riscos més significatius i amb alta probabilitat de succeir, són els que s'han de prioritzar i identificar per definir un pla de contingència efectiu per suavitzar els efectes negatius que pot provocar el seu possible impacte en el projecte.

A continuació es mostra l'AMFE detallat del producte a desenvolupar. I en concret es mostren les taules de l'anàlisi dels riscos. En primer lloc s'analitzen els riscos tècnics relacionats amb els components electrònics, el microcontrolador, els circuits electrònics, l'alimentació elèctrica i disseny de la PCB. Per cadascun d'aquests elements s'analitzen els possibles modes de fallades, els efectes que poden provocar, la causa que els pot activar i el sistema de detecció proposat. Aquests anàlisis es poden consultar a les taules 10.1.1, 10.1.3, 10.1.5, 10.1.7 i 10.1.9. A continuació de cada taula es mostra la classificació dels riscos calculant l'índex de probabilitat de risc (IPR) de cadascun. Aquesta classificació es pot consultar a les taules 10.1.2, 10.1.4, 10.1.6, 10.1.8 i 10.1.10

Riscos Tècnics. Components electrònics				
Funcions /Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Components electrònics	Interferències electromagnètiques	Provoquen una degradació dels components.	Degut a l'emissió i susceptibilitat de EMI (<i>Electromagnetic Interference</i>) dels components com els circuits integrats i fonts d'alimentació commutades.	Amb equips de mesura d'EMI, a partir d'observar símptomes i comportaments anòmals dels diferents components. Analitzant l'espectre i fent proves.
		Generen problemes de compatibilitat electromagnètica amb altres components.		
		Provoquen un mal funcionament dels components.		
	Components defectuosos/espallats	Provoquen problemes de connectivitat.	Degut a un muntatge incorrecte dels diferents components i a una manipulació inadequada d'aquests. També es poden donar per condicions ambientals adverses com pot ser la humitat.	De forma visual, amb proves de continuïtat i resistència i també amb proves funcionals. Les proves funcionals es duen a terme quan els components ja estan muntats en la PCB.
		Provoquen un mal funcionament i degradació dels components.		
		Generen un risc a espallar altres components.		
		Es poden crear curtcircuits.		
	Incompatibilitat dels components	Provoquen un mal funcionament i danys dels components.	Deguda a diferències de voltatges i corrents entre components. Deguda a factors mecànics, si els components no encaixen en els pins de la PCB o a les dimensions físiques dissenyades. Deguda a la incompatibilitat de la freqüència com el que es pot donar en el cas dels oscil·ladors.	Amb anàlisi i revisió de les especificacions tècniques dels <i>datasheets</i> dels diferents components. Amb proves de funcionament.
		Provoquen una disminució del rendiment dels components.		
		Provoquen problemes de comunicació i comptabilitat.		
		Provoquen inestabilitat del sistema.		

Taula 10.1.1. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en els components electrònics

A continuació a la taula 10.1.2, es mostra la classificació dels riscos segons el mètode d'anàlisi modal de falles i efectes d'elements clau de processos o productes del Ministeri de Treball i Assumptes Socials.

El nivell dels indicadors de la gravetat, ocurrència i detecció es puntuen des d'un valor d'1 (menor probabilitat) fins a 10 (major probabilitat).

Per la gravetat, la puntuació es troba des d'un valor 1 que indica que és de poca importància fins a un valor de 10, que indica que és de molta importància.

Per altra banda, per l'indicador, de l'ocurrència el valor també té un rang des d'un valor d'1, que indica baixa probabilitat, fins a un valor de 10 que indica que és d'alta probabilitat.

I, respecte a l'indicador de la detecció, el valor d'1, indica que és fàcil de detectar, i pot arribar fins al valor de 10, que indica que és difícil de detectar.

[72]

Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Components electrònics	Interferències electromagnètiques	5	2	6	60
	Components defectuosos/espatllats	9	2	4	72
	Incompatibilitat dels components	8	2	4	64

Taula 10.1.2. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Riscos Tècnics. Microcontrolador				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Microcontrolador	Falla del rellotge	Provoca un funcionament incorrecte com errors en l'execució d'instruccions i en la temporització d'esdeveniments.	Degut a problemes en la sincronització de les operacions internes. Ja que no s'ha establert bé la freqüència de l'oscil·lador exterior o interior.	A partir de proves de funcionament, fent un anàlisi de la memòria i energia. Inspeccionant físicament el component.
	Falla de memòria	Provoca comportaments inesperats, pèrdua de dades o fins i tot bloqueig del microcontrolador.	Degut a errors en la programació de la memòria o danys físics en les cèl·lules de memòria.	
	Sobreescalfament	Provoca un mal funcionaments, errors en les operacions internes i danys interns permanents.	Quan el microcontrolador no dissipa de forma adequada la calor generada durant el seu funcionament.	
	Problemes en la programació	Provoca un mal funcionament de les operacions internes del microcontrolador, i no executa el que es vol aconseguir.	Durant la codificació s'han realitzat errors que ha fet que el microcontrolador entengui un tipus de funcionament diferent.	

Taula 10.1.3. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en el microcontrolador

A continuació a la taula 10.1.4. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Tècnics. Microcontrolador					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrencia	Detecció	IPR
Microcontrolador	Falla del rellotge	9	4	5	180
	Falla de memòria	10	2	7	140
	Sobreescalfament	7	4	2	56
	Problemes en la programació	8	4	5	160

Taula 10.1.4. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1 (poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrencia 1 (baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1 (fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Riscos Tècnics. Circuits electrònics				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Circuits electrònics	Curtcircuits	Provoquen un flux excessiu de corrent, la qual cosa danya els components i fan que el seu funcionament no sigui l'adequat.	Degut algun error en el disseny de la PCB i dels circuits, com per exemple que es sobreposin dos pistes que no haurien de tocar-se.	Es poden detectar a partir de proves de continuïtat, mesures del voltatge i corrent i de forma visual degut a danys físics.
	Circuits oberts	Pot fer que una part o tot el circuit deixi de funcionar. I fer malbé els components.	Degut a un component defectuós, una pista de la PCB trencada o una connexió a l'aire.	
	Polaritat invertida		Al connectar components com els díodes i condensadors de forma incorrecta.	

Taula 10.1.5. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en els circuits electrònics.

A continuació, a la taula 10.1.6. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Tècnics. Circuits electrònics					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Circuits electrònics	Curtcircuits	10	4	4	160
	Circuits oberts	8	2	3	48
	Polaritat invertida	10	6	5	300

Taula 10.1.6. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1(poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrència 1(baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1(fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Riscos Tècnics. Alimentació elèctrica				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Alimentació elèctrica	Sobrecarrega de corrent	Provoca un augment de la temperatura de les pistes i també, un sobreescalfament i possible malfuncionament dels components. A més, existeix la possibilitat de fer saltar els fusibles del circuit.	Es pot donar quan la carrega connectada al subministra elèctric excedeix la capacitat de corrent admesa.	A partir dels sistemes de protecció, inspecció visual dels components i anàlisi del voltatge i subministra elèctric.
	Pics de tensió	Provoquen danys, desgastament i mal funcionament dels components electrònics.	Degut a descarregues elèctriques, fluctuacions en la xarxa elèctrica o problemes amb els equips elèctrics connectats	

Taula 10.1.7. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en l'alimentació elèctrica.

A continuació, a la taula 10.1.8. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Tècnics. Alimentació elèctrica					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrencia	Detecció	IPR
Alimentació elèctrica	Sobrecarrega de corrent	10	3	5	150
	Pics de tensió	7	2	7	98

Taula 10.1.8. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1(poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrencia 1(baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1(fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Riscos Tècnics. Disseny PCB				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Disseny PCB	Rutes de les pistes incorrectes	Provoquen un mal funcionament o falla completa del circuit.	A la generació d'interferències electromagnètiques, acomplaments creuats o sorolls.	Es pot utilitzar un sistema d'anàlisi de disseny assistit per computadora, fer simulacions de circuits, realitzar una inspecció visual de la PCB i/o realitzar proves de funcionament i rendiment.
	Disseny deficient de la disposició de components	Provoquen problemes de interferència electromagnètica, dificultats d'accés en les reparacions o actualitzacions, i problemes de dissipació del calor dels components.	Degut a la ubicació inadequada dels components en la PCB.	
	Dimensionament inadequat de les pistes i les vies	Caigudes de tensió i sobreescalfament.	Quan les pistes i vies de la PCB no tenen l'ample i espaiat adequat pels corrents i les tensions.	
	Disseny ineficient de la terra i la potencia del circuit	Pot aparèixer soroll, acoblament de senyals, problemes en el retorn del corrent, i problemes d'estabilitat del circuit.	Degut a no disposar d'un bon disseny dels terres i de les potències del circuit. Per exemple, quan algun d'ells no es connecti.	

Taula 10.1.9. Anàlisi de riscos tècnics. Fallades en l'alimentació elèctrica.

A continuació a la Taula 10.1.10. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Tècnics. Disseny PCB					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrencia	Detecció	IPR
Disseny PCB	Rutes de les pistes incorrectes	10	5	5	250
	Disseny deficient de la disposició de components	7	5	6	210
	Dimensionament inadequat de les pistes i les vies	10	6	6	360
	Disseny ineficient de la terra i la potencia del circuit	10	2	7	140

Taula 10.1.10. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1(poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrencia 1(baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1(fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Tot seguit, s'analitzen els riscos normatius que es poden consultar a la següent taula 10.1.11. A continuació d'aquesta taula es mostra la classificació dels riscos calculant l'índex de probabilitat de risc (IPR) de cada mode de fallada. Aquesta classificació es pot consultar a la taula 10.1.12.

Riscos Normatius.				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Noves normatives	Falta de conformitat	Poden generar sancions, multes, riscos legals, ineficiència i pèrdua de competitivitat.	Deguda a una interpretació incorrecte de les regulacions, falta de coneixement o recursos per poder implementar-les.	<ul style="list-style-type: none"> - Actualitzacions constants sobre les normatives i tenir accessible la informació referent a les normatives actuals. - Avaluar que les normatives es compleixen i desenvolupar un pla d'acció i ajust, a part, d'anar executant un seguiment d'aplicació.
	Requisits tècnics complexos	Poden provocar costos addicionals, dificultat d'implementació, retràs en el temps de comercialització i necessitat de adquirir noves capacitats.	Degut a que els requisits que s'han de complir resulten complexos i poc accessibles per les empreses petites o menys especialitzades.	
	Impacte en la competitivitat	Degut a que les empreses han de fer front a majors costos per al compliment de les normatives en comparació amb els competidors internacionals que treballen amb regulacions menys estrictes.	Quan les normatives s'apliquen a certs sectors o regions.	
	Canvis en la cadena de subministres	Deguts a la re avaluació dels proveïdors actuals i una recerca exhaustiva de alternatives que compleixin els requisits.	Quan es requereixen canvis en la cadena de subministrament, com pot ser la verificació de procedència.	

Taula 10.1.11. Anàlisi de riscos normatius

A continuació a la Taula 10.1.12. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Normatius.					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrencia	Detecció	IPR
Noves normatives	Falta de conformitat	7	6	7	294
	Requisits tècnics complexes	8	4	6	192
	Impacte en la competitivitat	8	4	4	128
	Canvis en la cadena de subministres	10	1	3	30

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1(poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrencia 1(baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1(fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Taula 10.1.12. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

A continuació s'analitzen els riscos de temps que es poden consultar a la següent taula 10.1.13. A continuació d'aquesta taula es mostra la classificació dels riscos calculant l'índex de probabilitat de risc (IPR) de cada mode de fallada. Aquesta classificació es pot consultar a la taula 10.1.14.

Riscos de Temps				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Temps	No es compleix la planificació inicial	Provoca un retard del projecte, havent de realitzar una replanificació del projecte que pot provocar eliminar alguna de les tasques per aconseguir amb la data prevista de finalització.	Per falta de coneixements de certs aspectes del projecte.	Avaluant la planificació inicial i revisant l'estat actual fent un seguiment acurat de l'execució de les tasques.
	Falta de recursos	Provoca no poder dur a terme el prototip del projecte.	En els últims anys hi ha hagut una manca de components electrònics globals, agreujada per la pandèmia de la covid-19, afectant així a la cadena de subministrament de components. A més de la falta de capacitat de fabricació d'aquests	
	Retard en l'entrega de materials		Hi ha hagut algun problema amb el proveïdor.	

Taula 10.1.13. Anàlisi de riscos normatius.

A continuació a la Taula 10.1.14. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos de Temps					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrencia	Detecció	IPR
Temps	No es compleix al planificació inicial	10	8	3	240
	Falta de recursos	10	5	2	100
	Retard en l'entrega de materials	8	3	2	48

Taula 10.1.14. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

Notació: Puntuació del valor 1 (menor) al valor 10 (major), en el cas de la Gravetat: 1(poca importància) – 10 (molta importància), en el de l'Ocurrencia 1(baixa probabilitat) – 10 (alta probabilitat) i respecte la Detecció 1(fàcil de detectar) -10 (difícil de detectar) [72].

Finalment, s'analitzen els riscos financers que es poden consultar a la taula 10.1.15. A continuació d'aquesta taula es mostra la classificació dels riscos calculant l'índex de probabilitat de risc (IPR) de cada mode de fallada. Aquesta classificació es pot consultar a la taula 10.1.16.

Riscos Financers				
Funcions/Elements	Modes de fallades	Efectes	Causa	Sistema de detecció
Financers	Fluctuacions en el mercat financer	Provoquen variacions en els preus i canvis en la demanda i l'oferta.	Per factors econòmics, polítics, socials i culturals.	Portant a terme un anàlisi econòmic i de mercat.
	Canvis en la regulació governamental, les lleis i les regulacions comercials	Provoquen un impacte en l'indústria, costos addicionals, riscos legals, sancions i canvis en la competència.	Degut a canvis en les polítiques governamentals, en les necessitats socials i/o canvis en l'entorn internacional.	
	Pèrdua de finançament	Dificultat per portar a terme el projecte o el seu prototip.	Desemparament de mercat, problemes de gestió financera i canvis en les polítiques de finançament.	

Taula 10.1.15. Anàlisi de riscos financers

A continuació a la Taula 10.1.15. es mostra la classificació dels riscos.

Riscos Financers					
Funcions/Elements	Modes de fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Financers	Fluctuacions en el mercat financer	7	1	2	14
	Canvis en la regulació governamental, les lleis i les regulacions comercials	7	1	2	14
	Pèrdua de finançament	10	1	2	20

Taula 10.1.16. Puntuació de l'indicador de prevenció de riscos.

10.2. Pla de contingència del producte

Per abordar les possibles fallades dels sistemes s'ha elaborat un pla de contingència, prenent en consideració la importància d'implementar les accions necessàries segons l'IPR obtingut a les taules de l'apartat anterior.

A continuació es detallen els possibles els riscos agrupats segons si són riscos tècnics, temporals o financers.

10.2.1. Riscos tècnics

En aquest apartat s'analitzen els riscos tècnics relacionats amb les fallades que poden succeir en els components electrònics, el microcontrolador, els circuits electrònics, l'alimentació elèctrica i disseny de la PCB.

En primer lloc, dins la tipologia de falles que afecten els **components electrònics**, cal destacar dos modes de fallades, les fallades provocades pels components defectuosos i/o espatllats i les fallades provocades per les incompatibilitats dels components.

Respecte a les fallades dels components defectuosos i/o espatllats, indicar que segons l'anàlisi realitzat a l'apartat anterior aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 72 punts, indicant que la gravetat és elevada i si succeeixen poden comportar efectes negatius en el desenvolupament del projecte, incloent el mal funcionament del producte, tal i com es mostra a la taula 10.2.2. de l'apartat anterior. La seva ocurrència és petita, de 2 punts sobre 10, indicant que és improbable que el component sigui defectuós de fàbrica a causa dels controls de qualitat que normalment han d'haver superat abans de la sortida. No obstant, existeix la possibilitat que el component es deteriori durant l'ús, encara que la probabilitat de danyar-lo no és molt alta a menys que s'utilitzi de manera incorrecta. Cal destacar que detectar aquesta fallada no és fàcil, sobretot quan es tracta de molts components que s'instal·len directament a la PCB sense haver fet proves individuals.

Per tal d'evitar i reduir el risc d'aquesta fallada, es recomanen les següents mesures. En primer lloc, seleccionar proveïdors de confiança amb una reputació sòlida i realitzar proves de qualitat

per verificar la conformitat dels components rebuts. Aquestes proves poden incloure inspeccions visuals, proves de funcionament i proves de fiabilitat. A més, és important mantenir un entorn de producció adequat i controlat, assegurant una temperatura adequada i controlant la humitat per preservar la integritat dels components durant el seu emmagatzematge i manipulació.

Amb aquestes mesures, es pot reduir el risc de rebre components defectuosos o que s'espantin i permeten millorar la detecció de possibles fallades en els components abans que es produeixin problemes en el producte final. És important implementar un enfocament integral de control de qualitat en tot el procés de producció per garantir la fiabilitat i el bon funcionament dels components utilitzats.

Respecte a les fallades per la incompatibilitat dels components, indicar que segons l'anàlisi realitzat a l'apartat anterior aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 64 punts, indicant una gravetat elevada i que si succeeixen aquest tipus de fallades poden causar efectes significatius i negatius en el funcionament del producte, incloent la seva fiabilitat. En relació a l'ocurrència, aquesta és petita, de 2 punts sobre 10, donat que s'adopten mesures per utilitzar *datasheets* i assegurar la compatibilitat dels components. La detecció d'aquesta fallada no és fàcil i requereix esforços addicionals per identificar-la i diagnosticar-la.

Amb l'objectiu de prevenir i reduir el risc d'incompatibilitat entre components, s'implementen les diferents accions.

- Una acció és la selecció adequada de components, escollint components que siguin compatibles i segueixen les especificacions i recomanacions proporcionades pels *datasheets* dels fabricants. D'aquesta manera s'assegura una millor compatibilitat entre els components i es redueix el risc d'incompatibilitat.
- Un altra acció és la realització de proves de compatibilitat, planificant proves específiques per avaluar la compatibilitat entre els components abans de la seva integració en el producte final. Aquestes proves poden incloure verificacions de les posicions dels pins, protocols de comunicació i altres factors rellevants per assegurar la compatibilitat correcta.
- També s'implementa l'acció de millorar els procediments i mètodes de detecció per identificar de manera més eficient els problemes d'incompatibilitat entre components. Aquesta acció inclou l'ús de proves específiques, inspeccions visuals i altres tècniques d'anàlisi per detectar i diagnosticar possibles incompatibilitats.

Amb aquestes accions, es cerca minimitzar el risc d'incompatibilitat entre components i assegurar un funcionament adequat i fiable del producte. És important seguir una metodologia rigorosa durant el procés de selecció, integració i proves dels components per evitar problemes relacionats amb la incompatibilitat.

En segon lloc, cal tenir en compte la tipologia de falles provocades per un **mal funcionament del microcontrolador en general**. S'estima que poden presentar una probabilitat baixa amb un impacte alt. El mal funcionament del microcontrolador pot afectar tant als components individuals com al funcionament general de la placa, a més pot causar retards de desenvolupament del projecte.

El pla d'acció consisteix que en el cas de mal funcionament del microcontrolador, cal realitzar una revisió exhaustiva per identificar i corregir qualsevol error. Si es determina que el problema és causat pel propi microcontrolador, s'aconsella contactar amb l'empresa per resoldre el problema.

Referent a les fallades que afecten al microcontrolador, és important assenyalar les falles en el rellotge i els errors en la programació.

En referència a les **falles en el rellotge**, es pot assenyalar que aquest mode de fallada presenta, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.4, un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 180, indicant una gravetat elevada, amb un impacte significatiu i greu en el funcionament del microcontrolador, i en conseqüència en el sistema o producte en el que s'utilitza. Les falles en el rellotge poden provocar errors en el càlcul del temps, desincronització de tasques programades o altres problemes que poden afectar negativament el rendiment i la fiabilitat del sistema. Aquestes falles que afecten el rellotge tenen una ocurrència moderada, amb una probabilitat moderada de succeir en circumstàncies o condicions específiques. Aquesta tipus de falles es poden detectar amb certa facilitat si s'estableixen procediments de control i vigilància adequats.

Tenint en compte aquests valors, és important prendre les mesures necessàries per prevenir i mitigar les falles en el rellotge d'un microcontrolador. Això pot incloure l'ús de components de rellotge de qualitat, la implementació de procediments de control de qualitat durant la fabricació

i utilitzar tècniques adequades de supervisió i control adequades per detectar i corregir falles en el rellotge. Cal assegurar que els circuits de *hardware* que s'utilitzen pels rellotges del sistema siguin adequats. És crucial realitzar proves i verificacions periòdiques del rellotge per assegurar que funciona correctament i mantenir els sistemes actualitzats amb les últimes versions de *firmware* o programari, per resoldre possibles vulnerabilitats o falles conegudes. A més, en cas de falla s'han de tenir protocols de recuperació.

A través d'una combinació d'una planificació adequada, un seguiment adequat i l'ús d'accions preventives, és possible minimitzar l'ocurrència de les falles en el rellotge, millorar la seva detecció i reduir l'impacte significatiu que poden tenir en el funcionament del microcontrolador i el sistema en general.

Els problemes en la programació que inclouen errors o resultats que no donen solució al problema plantejat, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.4, presenten un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 160, amb una gravetat alta. Aquestes falles poden tenir un impacte significatiu en el funcionament del microcontrolador i, per tant, en el producte. Provocant problemes d'execució, errors en el processament de dades, comportaments inesperats i fins i tot danys en els components. No obstant, l'ocurrència de la falla és moderada, indicant que es poden presentar amb certa freqüència en certes situacions, ja que es un error principalment humà. La detecció de la falla presenta un valor mig de 5 sobre 10, significant que poden ser detectats amb una certa facilitat a partir de proves i anàlisis. Tot i així, s'ha de fer un esforç addicional per identificar i diagnosticar adequadament els problemes i garantir una detecció efectiva i ràpida.

Si el codi no s'executa adequadament o no funciona correctament, pot afectar les connexions dels components i provocar un mal funcionament dels circuits. A més, aquestes fallades poden afectar negativament en el temps preestablert de durada del projecte.

Tenint en compte aquests valors, és important prendre les mesures necessàries per evitar i mitigar els problemes de programació del microcontrolador. Es destaquen les següents accions:

- Es poden realitzar proves exhaustives abans d'incloure el codi en el sistema final. És important realitzar revisions del codi de forma periòdica i mantenir-lo actualitzat, amb les últimes versions del *software* del microcontrolador.
- Es pot monitoritzar i realitzar anàlisis dels resultats per detectar problemes en temps real.

- A més, és important tenir en compte la documentació disponible, a través de manuals de programació, com els que es poden consultar a la pàgina web de l'entorn de programació *STMCubeIde*[73].
- I finalment, és recomana comprovar el *datasheet* del microcontrolador per analitzar com es determinen els registres i com s'indiquen i s'hi accedeix.

En tercer lloc, dins la tipologia de falles que afecten els circuits electrònics, cal destacar les fallades provocades la **polaritat invertida d'un component del circuit electrònic**. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 300, presentant una gravetat molt elevada tal i com es pot consultar a la taula 10.2.6. Això implica que aquestes falles poden tenir conseqüències greus i significatives en el funcionament del component, del circuit i del sistema. En concret, poden causar danys irreversibles dels components, sobreescalfament, curtcircuits i altres problemes que poden portar a la no funcionalitat del sistema. L'ocurrència és moderada, amb una probabilitat considerable de que succeeixi, especialment, si no es segueixen de forma adequada les pautes de connexió i si no es prenen precaucions en el muntatge i disseny. En relació a la detecció de la falla, aquesta és moderada. Es necessiten aplicar mesures de verificació per poder-les detectar.

Per evitar la aquesta falla i reduir els riscos associats es proposen les següents mesures:

- Verificar la polaritat abans de connectar qualsevol component per tal de coincideixin amb les especificacions i recomanacions del fabricant, revisant la serigrafia dels components i els esquemes de connexió.
- Portar a terme un etiquetatge correcte i clar dels components.
- Realitzar proves i verificacions exhaustives per assegurar-se que no s'hagi produït cap inversió de la polaritat.

En quart lloc, també, cal tenir en compte la tipologia de falles per **problemes amb l'alimentació elèctrica**.

Es considera que aquests problemes poden presentar una probabilitat mitjana amb un impacte alt. L'alimentació elèctrica és molt important, ja que la central de regulació és a un voltatge molt alt, de 230V en alterna que s'ha de transformar en continua a 24V. Per aquesta raó si hi ha un mal funcionament pot arribar a ser molt perillós i perjudicial, provocant danys a la placa.

El **pla d'acció** que es proposa, és assegurar que el transformador funciona de forma correcta realitzant proves de forma física, és a dir, en *protoboard* abans de la fabricació. A més a més, cal prevenir i assegurar que a tots els circuits els hi arriba la tensió desitjada. Si el problema sorgeix més endavant quan la placa ja està fabricada, cal realitzar diferents proves sobre aquesta i prosseguir amb les modificacions pertinents.

Dins d'aquesta tipologia de falles es destaca la **sobrecarrega de corrent**. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 150, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.8, amb una gravetat alta per les conseqüències greus i significatives en el funcionament i rendiment de la PCB. A més, pot provocar danys en els components, falles en els funcionament, curtcircuits, sobreescalfament i en casos extrems augmentar el risc d'incendi. Tot i així, l'ocurrència és moderada, ja que no succeeix de forma freqüent. La detecció també es moderada, requerint un monitoreig i supervisió adequats. A més, de disposar sistemes de protecció i dispositius de detecció de corrent per respondre ràpidament.

Per evitar aquesta falla i reduir els riscos associats es proposa seguir les següents mesures.

- Fer un dimensionament adequat de la capacitat de la font d'alimentació i dels components de la PCB per evitar una càrrega excessiva de corrent. Per tant, s'han de considerar les corrents dels components i afegir fusibles de protecció.
- Assegurar que el disseny tingui en compte la dissipació del calor dels components, es pot incloure ventilació o distribució més àmplia dels components
- Supervisar la corrent per detectar i analitzar anomalies.

Finalment, dins la tipologia de falles relacionades amb el disseny de la PCB, també cal destacar les fallades provocades per un **dimensionament inadequat de les pistes i les vies**. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 360, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.10, té una gravetat molt alta, que implica la presència de conseqüències greus i significatives en el rendiment i la fiabilitat de la PCB. Un problema de dimensionament incorrecte de les pistes i vies pot provocar altes impedàncies, pèrdua del senyal, soroll electromagnètic, curtcircuits, sobreescalfament i falles en el funcionament del circuit. L'ocurrència d'aquest problema és moderada, per tant, si no se segueixen les bones pràctiques en el disseny de la PCB és molt probable que es produeixin errors de dimensionament. A més, la detecció presenta un valor moderat per la necessitat d'un anàlisi i revisió minuciosa dels dissenys de la PCB.

Per evitar la aquesta falla i reduir els riscos associats es porposen les següents mesures.

- Realitzar revisions del disseny i utilitzar eines de simulació i verificació per identificar possibles errors.
- Realitzar verificacions durant el procés de fabricació.
- Tenir en compte sobretot el voltatge que ha de passar per una pista, si és de 230VAC, de 24VDC o 3VDC per tal d'adequar-la al corrent que pugui passar.

10.3.2. Riscos normatius

Dins la tipologia de falles que afecten a les normatives a complir es destaca la **falta de conformitat del producte amb les normes**. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 294, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.12, on es destaca que la gravetat és moderada. El no compliment de les noves normatives causa un efecte negatiu en el projecte, per problemes legals, sancions o restriccions comercials, així com problemes de qualitat o seguretat relacionades amb el producte final. La seva ocurrència és moderada, amb una probabilitat considerable de que puguin sorgir noves normatives o requisits nous al llarg del projecte, ja sigui per part del client, els estàndards de la indústria o els organismes reguladors. Pel que fa a la detecció, aquesta també és moderada, ja que és possible identificar les noves normatives, però pot requerir una alerta activa i revisió periòdica dels requisits normatius.

Per evitar aquesta falla i reduir els riscos associats, es poden seguir diferents accions entre les que es destaca:

- Mantenir la informació respecte a les normatives actualitzada i conèixer els canvis i les actualitzacions que hagin pogut sorgir. Això implica seguir les comunicacions dels organismes pertinents i participar en esdeveniments i conferències de la indústria.
- Avaluar els impactes que pot tenir la implementació de noves normes, en el cas d'actualitzacions.
- Revisar i verificar de forma regular el projecte per assegurar el compliment dels requisits tant normatiu com del client.

10.3.3. Riscos de temps

En aquest apartat s'analitzen els riscos de temps relacionats amb el no compliment de la planificació inicial degut a que alguna o algunes de les tasques s'allargui més del previst. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 240 tal i com es pot consultar a la taula 10.2.14, amb una gravetat molt alta. Pot comportar un retard en l'entrega del projecte, l'incompliment de compromisos amb els clients, costos addicionals i la pèrdua d'oportunitats. L'ocurrència d'aquesta la falla és alta, ja que en un primer projecte és freqüent que sorgeixin desviacions o retards en alguna de les tasques, canvis en els requisits inicials, imprevistos, problemes de recursos o manca d'un seguiment adequat. La detecció d'aquesta falla és baixa, ja que es difícil detectar les desviacions i retards del projecte. Normalment aquestes desviacions es detecten una vegada ja han succeït.

Per evitar la aquesta falla i reduir els riscos associats es poden de seguir les següents mesures:

- Realitzar una planificació detallada i realista del projecte, tenint en compte els recursos necessaris tenint en compte els temps i les dependències entre tasques.
- Fer un seguiment periòdic per controlar el progrés del projecte en comparació amb la planificació.
- Disposar de flexibilitat i capacitat de resposta ràpida. S'ha de reconèixer que poden aparèixer retards o imprevistos durant el transcurs del projecte i cal estar preparat per adaptar-se als canvis per minimitzar els impactes negatius.
- En cas de retards, cal refer la planificació inicial i determinar la situació més desfavorable, identificant les tasques que poden no ser completades dins del termini establert. Cal establir prioritats entre les tasques en funció de la seva importància per al propòsit i objectiu final del projecte. I prendre decisions sobre quines tasques de menor rellevància poden ser reduïdes o eliminades per reduir el temps necessari per a la finalització del projecte.

10.3.4. Riscs financers

En aquest apartat s'analitzen els riscos financers deguts a la **pèrdua de finançament**. Aquest mode de fallada presenta un Índex de Prioritat de Risc (IPR) de 20, tal i com es pot consultar a la taula 10.2.16, amb un nivell de gravetat màxim. La pèrdua de fons financers pot suposar una

interrupció o fins i tot la cancel·lació del projecte. Per altra part, l'ocurrència és baixa ja que en circumstàncies normals és poc habitual que pugui passar. No obstant, la detecció d'aquesta situació és baixa, ja que pot ser fàcil detectar de forma immediata la pèrdua de finançament.

Per evitar aquesta falla i reduir els riscos associats es proposa seguir les següents mesures.

- Establir reserves financeres, i si poden ser pròpies.
- Realitzar un monitoratge constant de la salut financera del projecte.
- Realitzar una planificació financera que inclogui un estudi econòmic realista amb estimacions de costos i ingressos esperats.

10.3.5. Conclusions de l'AMFE

Un cop realitzat l'anàlisi del model de fallades i efectes, és possible analitzar l'Índex de Prioritat de Risc per avaluar els diferents nivells de perillositat i prioritzar-los per a l'aplicació d'un pla de contingència més rigorós.

S'han identificat deu aspectes prioritaris en relació amb els riscos. Per aquests aspectes, s'han establert mesures per reduir o fins i tot eliminar els riscos i fallades associades. Amb l'aplicació d'aquestes mesures l'empresa pot garantir la durabilitat del producte, assegurar-ne la qualitat i implementar sistemes per prevenir problemes més greus. A més, l'empresa està sotmesa a un rigorós control de qualitat per assegurar la seguretat i funcionalitat adequades.

Amb les mesures establertes es busca garantir la seguretat dels usuaris i proporcionar-los un producte de qualitat i fiable. L'empresa assumeix la responsabilitat de garantir la seguretat dels seus productes mitjançant un enfocament integral que inclou el control de qualitat, la formació adequada als usuaris i l'aplicació de mesures de seguretat tècniques. Aquest enfocament permet reduir els riscos i minimitzar les fallades, creant una millor experiència mantenint la confiança en la marca i els seus productes.

A continuació es presenta una taula AMFE actualitzada, on s'ha tornat a calcular l'Índex de Prioritat de Risc després de realitzar les accions mencionades en els apartats anteriors. Es pot observar clarament la reducció d'aquest índex, principalment gràcies a la disminució de la

dificultat de detecció a través de les millores implementades i la reducció del nivell d'ocurrència.

Riscos tècnics					
Funcions/Elements	Modes fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Components electrònics	Components defectuosos/espatllats	9	2	2	36
	Incompatibilitat dels components	8	1	2	16
Microcontrolador	Falla del rellotge	9	2	3	54
	Problemes en la programació	8	4	2	64
Circuits electrònics	Polaritat invertida	10	4	2	80
Alimentació elèctrica	Sobrecarrega de corrent	10	3	1	30
Disseny PCB	Dimensionament inadequat de les pistes i les vies	10	2	3	60

Taula 10.3.5. 1. Riscos tècnics. AMFE actualitzada.

Riscos normatius					
Funcions/Elements	Modes fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Noves normatives	Falta de conformitat	7	3	4	84

Taula 10.3.5. 2. Riscos normatius. AMFE actualitzada.

Riscos de temps					
Funcions/Elements	Modes fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Temps	No es compleix al planificació principal	10	6	2	120

Taula 10.3.5. 3. Riscos de temps. AMFE actualitzada.

Riscos financers					
Funcions/Elements	Modes fallades	Gravetat	Ocurrència	Detecció	IPR
Financers	Pèrdua de finançament	10	1	1	10

Taula 10.3.5.4. Riscos financers. AMFE actualitzada.

Com es pot observar en les taules anteriors, 10.3.5.1, 10.3.5.2, 10.3.5.3 i 10.3.5.4 s'ha aconseguit reduir significativament els índexs de prioritat de risc en la majoria dels modes de fallada. Això indica que les accions implementades són eficaces per disminuir el potencial de risc i millorar la seguretat i fiabilitat del producte.

És important seguir vigilant i realitzar revisions periòdiques per assegurar-se que les mesures de prevenció segueixen sent efectives i identificar possibles noves àrees de millora.

11. Conclusions

En aquest últim capítol de la memòria, es presenten les conclusions del projecte. Per aconseguir-ho, es parteix de la valoració del compliment dels objectius de detall establerts al començament del treball fi de grau.

L'objectiu principal que engloba tot el projecte és el de dissenyar un prototip amb control digital que millori l'eficiència del terra radiant i redueixi les emissions de CO₂, s'ha assolit. En el resultat del treball es pot comprovar que s'ha aconseguit un millor control d'aquests sistemes en front al control bàsic. S'ha arribat a millorar l'eficiència mitjançant la reducció de la inèrcia tèrmica i dels cicles d'encesa i apagat la qual cosa fa que millori, i en conseqüència s'aconsegueix la reducció de les emissions de CO₂.

Després de realitzar diverses proves de funcionament es pot assegurar la funcionalitat de les simulacions en *protoboard* adaptades a les necessitats requerides de control de sistemes de climatització per terra radiant, incorporant un microcontrolador. No obstant, degut al condicionament del temps, no s'ha pogut extrapolar al prototip global.

Referent al microcontrolador s'ha assolit l'objectiu marcat ajustat als requeriments de memòria i velocitat d'execució donat que la seva execució és correcta.

Tanmateix, s'ha aconseguit reduir les dimensions de la placa de connexions respecte a les dimensions de plaques utilitzades actualment que es poden trobar en el mercat. S'ha realitzat una incorporació electrònica, a partir de la digitalització de circuits del microcontrolador. Per tant, diversos circuits que la majoria de plaques s'incorporen en analògic, en el projecte s'ha implementat en digital. Les dimensions actuals de les plaques que es troben en el mercat són al voltant de 340mm de llargada, 120mm d'alçada i 70mm de grossor. En canvi, el disseny del prototip del projecte presenta unes dimensions de 295mm de llargada, 100mm d'alçada i 55mm de grossor.

Un altre objectiu assolit ha estat el disseny de la PCB amb la finalitat d'oferir una instal·lació fàcil i intuïtiva a les llars. S'ha marcat de forma senzilla i comprensible els símbols per facilitar el cablejat i el muntatge del sistema, determinant les parts i les funcions on s'han de connectar els diferents dispositius. Addicionalment, s'han tingut en compte certs components que faciliten la instal·lació, com són els blocs terminals fixes que poden oferir diferents posicions de

connexió. Per facilitar el muntatge dels cables s'han escollit els blocs terminals fixes de connexió recta que es connecten per la part de dalt. Si s'escullen els diagonals o els que tenen les connexions horitzontals, només es dificulta la seva instal·lació.

Finalment, l'objectiu és aconseguir que la placa de connexions assoleixi un cost assequible amb prestacions d'alta qualitat. Aquest s'ha assolit dins dels marges esperats, donant com a preu final del producte de 390€.

S'ha dissenyat el prototip amb l'objectiu d'oferir seguretat als usuaris, complint i seguint les normatives i recomanacions europees i espanyoles. Aquest objectiu s'ha assolit, ja que s'han tingut en compte les normatives que garanteixen la seguretat durant la fase disseny, i que s'han mencionat al llarg de la memòria.

11.1. Línies futures

Les línies de futur d'aquest projecte són assegurar el seu desenvolupament i èxit a mig termini, anticipant els desafiaments i aprofitant les oportunitats emergents. Amb un enfocament cap a la innovació i adaptabilitat, aquestes línies estratègiques són la guia del projecte cap a la rellevància i competitivitat en un entorn canviant dins del mercat potencial.

En primer lloc, s'adaptarà la placa perquè, en comptes d'oferir servei per a 4 zones, ho faci per a 8. A més, s'incorporarà una entrada de termòstat que determini la consigna de la temperatura desitjada. També es contempla la possibilitat de posar un interruptor intel·ligent per seleccionar el mode fred o calor, i l'encesa de la unitat de control. Aquesta unitat disposarà d'una aplicació per gestionar-la a distància.

Es considera necessari realitzar proves de dies sencers, incloent setmanes, abans de la seva comercialització per assegurar el bon funcionament del prototip i garantir totes les seves funcions sense cap mena de problema.

Es valora la possibilitat d'integrar-se amb altres emissors tèrmics com la calefacció convencional i el *fancoil* per proporcionar un control precís.

D'altra banda, també es valora el control de l'aerotèrmia mitjançant *Modbus*.

A escala més general, és interessant la complementació que pot proporcionar l'aerotèrmia amb energies renovables, ja que aquesta combinació pot reduir de manera evident les emissions de CO₂ i disminuir la dependència dels combustibles fòssils.

També s'espera que la unitat de control s'integri amb sistemes de gestió centralitzada, aplicacions mòbils i plataformes de control remot per poder tenir un seguiment i control més fàcil i accessible, per això, una possibilitat seria incorporar *wifi*.

Finalment, de cara a l'usuari, s'ha de personalitzar per poder oferir una experiència de climatització òptima.

12. Referències

- [1] Gallego, J.L. (2021) *El Abuso de la Calefacción También Envenena el Aire*, *elconfidencial.com*. El Confidencial. Disponible a: https://www.elconfidencial.com/medioambiente/ciudad/2021-02-13/contaminacion-ciudad-emisiones_2944959/ (Accés 2023).
- [2] Informe del Mercado de la calefacción 2019: El Suelo Radiante Crece, Eficiencia Energetica. Disponible a: <https://e-ficiencia.com/informe-de-mercado-calefaccion2019/>(Accés 2023).
- [3] Suelo Radiante o Piso Radiante - Funcionamiento - Ventajas, Eficiencia Energetica. Disponible a: <https://e-ficiencia.com/suelo-radiante-ventajas-funcionamiento-tipos/> (Accés 2023).
- [4] Consumos del sector residencial en España resumen de información – idae. Disponible a: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf (Accés 2023).
- [5] El Impacto Aire Acondicionado en el medio ambiente- Razones (2019) Suelo Radiante Alicante. Disponible a: <https://www.sueloradiantealicante.es/impacto-aireacondicionado/> (Accés 2023).
- [6] Services, W.B. (2021) Estas son las métricas que debes tener en cuenta para ahorrar en la climatización de tu casa, Xataka. Disponible a: <https://tecnologia.xataka.com/estasmetricas-que-debes-tener-cuenta-para-ahorrar-climatizacion-tu-casa/> (Accés 2023). 40 Disseny i creació d'una PCB per a la gestió d'un sistema de climatització per terra radiant
- [7] Idae (2019). Disponible a: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_de_contabilidad_de_consumos_individuales calefaccion_rd736_2020.pdf (Accés 2023).

- [8] Er (2020) Eficiencia - las calderas de gas y gasoil deben desaparecer en Cinco Años para alcanzar la neutralidad climática, Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. ER. Disponible a: <https://www.energias-renovables.com/eficiencia/las-calderasde-gas-y-gasoil-deben-20201210> (Accés 2023).
- [9] Desarrollo (2021) → Emergencia Climática: Las Emisiones de CO2 de las viviendas superan las de los coches " febrero, Ecoforest. Disponible a: <https://ecoforest.com/es/blog/emergencia-climatica-las-emisiones-de-co2-de-lasviviendas-superan-las-de-los-coches/> (Accés 2023).
- [10] The Spanish economy emitted 294.9 million tonnes of greenhouse ... - ine.es . Disponible a: https://www.ine.es/en/prensa/cma_2021_ea_en.pdf (Accés 2023).
- [11] 330ohms (2020) Diferencias entre un microprocesador y un microcontrolador, 330ohms. Disponible a: <https://blog.330ohms.com/2020/11/19/diferencias-microcontroladormicroprocesador/> (Accés 2023).
- [12] ¿Qué es un microcontrolador? SherlinxBotes. Disponible a: <http://sherlin.xbot.es/microcontroladores/introduccion-a-los-microcontroladores/que-es-un-microcontrolador> (Accés 2023).
- [13] byronpenna, A.the A. (2016) Microprocesador vs Microcontrolador, Ritsa Electrónica. Available at: <https://www.ritsasv.com/2016/04/04/microprocesador-vs-microcontrolador/> (Accés 2023).
- [14] 10 steps to selecting a microcontroller 10 Steps to selecting a Microcontroller - Embedded blog - Arm Community blogs - Arm Community. Disponible a: <https://community.arm.com/arm-community-blogs/b/embedded-blog/posts/10-steps-to-selecting-a-microcontroller> (Accés 2023).

- [15] Choosing the right microcontroller for embedded systems (2020) TronicsZone. Disponible a: <https://www.tronicszone.com/blog/choose-microcontroller-embeddedsystems/> (Accés 2023).
- [16] Normas Básicas y recomendaciones en el Diseño de PCBS :Normas Básicas y Recomendaciones en el Diseño de PCBs - Departamento de Tecnología Electrónica. Disponible a: <https://www.dte.us.es/docencia/etsii/gii-ic/laboratorio-dedesarrollo-hardware/temas/Tema5NormasPCB/view> (Accés 2023).
- [17] Sth and *, N. Regulación de un sistema de Suelo Radiante-refrescante, STHexpert. Disponible a: <https://sthexpert.standardhidraulica.com/regulacion-de-un-sistema-desuelo-radiante-refrescante/> (Accés 2023).
- [18] Sarachu, E. et al. (2019) >> Bombas circuladoras para Calefacción de Alta Eficiencia de Baxi, Eficiencia Energetica. Disponible a: <https://e-ficiencia.com/bombas-calefaccionalta-eficiencia-baxi/> (Accés 2023).
- [19] Admin (2022) Válvula de 3 vías: Función, instalación y uso, Codigo Calderas. Disponible a: <https://codigocalderas.com/valvula-3-vias/> (Accés 2023).
- [20] Jose (2022) agua caliente sanitaria. ¿Qué es acs en las calderas?, ITRSL. ITRSL. Disponible a: <https://itrsl.com/noticias/que-es-ac-s-en-las-calderas/> (Accés 2023).
- [21] Iberdrola (2021) Aerotermia, Una Opción sostenible Y Eficiente, Iberdrola. Iberdrola. Disponible a: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-aerotermia-y-bombasde-calor> (Accés 2023).
- [22] Geotermia: ¿Qué es y cómo podemos instalarla? (2023) Enertres. Disponible a: <https://enertres.com/sistemas/geotermia/> (Accés 2023).
- [23] Haverland (2018) ¿Qué es la inercia térmica?, Haverland. Haverland. Disponible a: <https://haverland.com/2015/01/21/que-es-la-inercia-termica/> (Accés 2023).

- [24] Radiante. Disponible a: <https://mysueloradiante.com/blog/regular-temperaturadecalefaccion-por-suelo-radiante/> (Accés 2023). 42 Disseny i creació d'una PCB per a la gestió d'un sistema de climatització per terra radiant
- [25] ¿Qué es la energía térmica? (artículo) Khan Academy. Khan Academy. Disponible a: <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energytutorial/a/what-is-thermal-energy> (Accés 2023).
- [26] Suelos radiantes: Un Poco de Historia (2020) Giacomini S.p.A. Disponible a: <https://es.giacomini.com/noticia/2020/12/21/suelos-radiantes-historia> (Accés 2023).
- [27] Underfloor heating (2023) Wikipedia. Wikimedia Foundation. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Underfloor_heating#History (Accés 2023).
- [28] Ondol (2023) Wikipedia. Wikimedia Foundation. Disponible a: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ondol> (Accés 2023).
- [29] Hipocausto: El Suelo Radiante con más de 2000 años, Nergiza. Disponible a: <https://nergiza.com/hipocausto-el-suelo-radiante-con-mas-de-2000-anos/> (Accés 2023).
- [30] Suelo Radiante o Piso Radiante - Funcionamiento - Ventajas, Eficiencia Energetica. Disponible a: <https://e-ficiencia.com/suelo-radiante-ventajas-funcionamiento-tipos/> (Accés 2023).
- [31] Suelo Radiante y Tuberías sanitarias. Disponible a: <https://www.termoconcept.com/valoracion/index.php?u=3&t=1&p=0&o=0&s=160> (Accés 2023).
- [32] Laverde, A. and Sobre el autor André Laverde Ingeniero Electrónico. Entrenador de diseño de PCB CID PCB Designer del IPC (2022) Normas Para Diseño de circuitos impresos PCB y electrónica, ALDELTA. Disponible a: <https://www.aldeltatec.com/blogdiseno-con-normas-y-certificaciones/normas-pcb-y-electronica/> (Accés 2023).

- [33] Marcado CE: Obtención del Certificado, requisitos de la ue Your Europe. Disponible a: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/cemarking/index_es.htm (Accés 2023).
- [34] Mercurio, P.E.B.M. (2020) Ebm Mercuriosomos expertos en el Diseño, cálculo e instalación de suelo radiante, Suelo Refrescante y Techo Radiante y refrescante., EBM Mercurio. Disponible a: <https://ebm-mercurio.es/suelo-radiante-calefaccion-refrigeracion-todo-en-uno/> (Accés 2023).
- [35] Bienvenido a la web del cte Inicio. Disponible a: <https://www.codigotecnico.org/> (Accés 2023).
- [36] Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. Disponible a: <https://www.miteco.gob.es/es/> (Accés 2023).
- [37] admin, A. (2018) *Principales problemas de un Aire Acondicionado, Blog Aislamientos Diansa*. Disponible a : <http://diansa.com/blog/2017/06/26/problemas-aire-acondicionado/> (Accés 2023).
- [38] Climatek (2022) *¿Cuánto tiempo se tarda en calentar Una casa con Suelo Radiante?, Climatek* Disponible a: <https://climatek.es/cuanto-tiempo-se-tarda-en-calentar-una-casa-con-suelo-radiante/> (Accés 2023).
- [39] Hernández, J.G.S., Hernández, R.M.O. and Ramírez, A.R.U. (1970) *Innovación y conocimiento tecnológico en la sociedad del siglo XXI: La revolución de las tics, Dialnet*. Facultad de Ciencias de la Información. Disponible a: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4330430> (Accés 2023).
- [40] Airzone Cloud. Disponible a: https://doc.airzonecloud.com/SalesProjects/Catalogs/Catalogue_Professionnel_Airzone_2022.pdf (Accés 2023).
- [41] *Airzone Cloud*. Disponible a: https://doc.airzonecloud.com/Sales-Projects/Catalogs/Professional_Catalogue_Airzone_2023.pdf (Accés 2023).

- [42] Cataloghi Google Drive. Google. Disponible a: <https://drive.google.com/drive/folders/15KO7s7FQYCORNfv8VP7lpDUmutTqysj6?usp=sharing> (Accés 2023).
- [43] Eng Google Drive. Google. Disponible a: <https://drive.google.com/drive/folders/17IDmx7qXV10r7BGKJ-IxxEm9Jz5G30-Y> (Accés 2023).
- [44] Vainsmon. Disponible a: <https://www.vainsmon.es/wpcontent/uploads/2022/01/catalogo-tarifa-Uponor-2022.pdf> (Accés 2023).
- [45] Moehlenhoff B 21902-08N2 alpha direct balance basisstation, 8 Zonen, 230V, NC (stromlos-ZU), MIT pumpen- und kesselsteuerung Moehlenhoff B 21902-08N2 Alpha direct Balance Basisstation, 8 Zonen. Elektrovertrieb Müller e.K. Disponible a: <https://eibhandel.de/Moehlenhoff-B-21902-08N2-Alpha-direct-Balance-Basisstation-8-Zonen-230V-NC-stromlos-zu-mit-Pumpen-und-Kesselsteuerung> (Accés 2023).
- [46] OEM alpha direct: System zur Startseite. Disponible a: <https://www.moehlenhoff.de/en/products/room-by-room-control/oem-alpha-directsystem> (Accés 2023)
- [47] *Descargar Folletos y Documentación Comercial: Resideo es Descargar folletos y documentación comercial | Resideo ES.* Disponible a: <https://www.resideo.com/es/es/recursos/documentacion-comercial/> (Accés 2023).
- [48] *Controlador de Suelo Radiante multi-zona HCC100: Resideo es Controlador de Suelo Radiante Multi-zona HCC100 | Resideo ES.* Disponible a: <https://www.resideo.com/es/es/soluciones/comfort/multi-zona/> (Accés 2023).
- [49] Bedin, S. *El Ahorro de Energía con la Calefacción por Suelo Radiante, Rossato Group.* Disponible a: <https://es.rossatogroup.com/news/supporto/14-il-risparmio-energetico-con-gli-impianti-di-riscaldamento-a-pavimento.html> (Accés 2023).

- [50] *STMicroelectronics*. Disponible a :https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2609-stm32cubeide-user-guide-stmicroelectronics.pdf (Accés 2023).
- [51] *Especificaciones de un Sistema* Disponible a: <https://www.uv.es/masefor/PAGINAS/especificacionesdelsistema.html> (Accés 2023).
- [52] *Altium designer - software DE DISEÑO DE PCB Altium*. Disponible a: <https://www.altium.com/es/altium-designer> (Accés 2023).
- [53] *Energías Renovables: Energías para un Futuro Más Seguro | Naciones Unidas United Nations*. United Nations. Disponible a: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy> (Accés 2023).
- [54] Ignacio Mártil de la Plaza Doctor en Física y Catedrático de Electrónica Tiempo estimado de lectura Tiempo 5 de 1 *et al.* (2023) *Energía solar de Concentración, La otra gran renovable, OpenMind*. Disponible a: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/energia-solar-de-concentracion-renovable/> (Accés 2023).
- [55] Greenheiss (2022) *Temperatura del Agua caliente sanitaria, Greenheiss*. Disponible a: <https://www.greenheiss.com/temperatura-agua-caliente-sanitaria/> (Accés 2023).
- [56] Una de Nuestras Responsabilidades es diseñar un mundo mejor para Todos. Mouser. Disponible a: <https://www.mouser.es/corporate-responsibility/> (Accés 2023).
- [57] El Proyecto de Medioambiente de Mouser Página de inicio de Mouser. Disponible a: <https://www.mouser.es/environmental/> (Accés 2023).
- [58] *Comparacion de Materiales de PCB* (2022) *Altium*. Disponible a: <https://resources.altium.com/es/p/materials-for-high-density-interconnects> (Accés 2023).

- [59] *La Placa de circuito impreso es perjudicial para el Cuerpo Humano. FASTPCBA Co., LTD.* Disponible a: <http://es.cnfastpcb.com/info/printed-circuit-board-is-35979863.html> (Accés 2023).
- [60] *Los Residuos Electrónicos marcan un Nuevo Récord Ecoavant.* Disponible a: https://www.ecoavant.com/contaminacion/residuos-electronicos-marcan-nuevo-record-contaminacion_5289_102.html (Accés 2023).
- [61] *Montajes Electrónicos ROMAR ELECTRÓNICA. Montajes Electrónicos.* Disponible a: <https://www.romarelectronica.com/> (Accés 2023).
- [62] *Inicio (2020) ProCircuits.* Disponible a: <http://www.pro-circuits.com/> (Accés 2023).
- [63] Lira, C. (2022) *6 consecuencias de la tecnología en el medio ambiente que debes conocer, Ecofiltro México.* Ecofiltro México. Disponible a: <https://ecofiltro.mx/blogs/news/consecuencias-de-la-tecnologia-en-el-medio-ambiente> (Accés 2023).
- [64] *¿Qué es la perspectiva de género y por qué es importante? Cuaderno de Valores: el blog de Educo.* Disponible a: <https://www.educo.org/blog/que-es-perspectiva-de-genero-y-su-importancia> (Accés 2023).
- [65] 2022, I.I.Á.28 A.B.R. and Álvarez, I.I. (2022) *La Brecha de Género en el sector tecnológico es una realidad en 2022, ComputerWorld.* Disponible a: <https://www.computerworld.es/tendencias/la-brecha-de-genero-en-el-sector-tecnologico-es-una-realidad-en-2022> (Accés 2023).
- [66] CALORYFRIO, A.R. *Conaif se une a la alianza steam para reducir La Brecha de Género en el sector de las instalaciones, Caloryfrio.com - Todo sobre calefacción, aire acondicionado, ahorro y eficiencia energética, energías renovables y sanitarios.* Disponible a: <https://www.caloryfrio.com/noticias/actualidad/conaif-alianza-steam-reducir-la-brecha-de-genero-sector-instalaciones.html> (Accés 2023).

- [67] e-Ficiencia, R. (2019) *El Aire Acondicionado discrimina a las mujeres, Eficiencia Energetica*. Disponible a: <https://e-eficiencia.com/aire-acondicionado-discrimina-a-las-mujeres/> (Accés 2023).
- [68] SL, T.E. *¿El suelo radiante puede provocar varices?, Energías renovables con geotermia, aerotermia, solar, biomasa, industria*. Disponible a: <http://www.solargal.com/faq/el-suelo-radiante-puede-provocar-varices-5637.html> (Accés 2023).
- [69] *Calefacción por suelo radiante: La Más Sana Según La Oms* (2022) *Evoconfort*. Disponible a: [69]<https://www.evoconfort.com/calefaccion-suelo-radiante-segun-la-oms/> (Accés 2023).
- [70] canalHOGAR (2021) *Suelo Radiante, pros y Contras, canalHOGAR*. Disponible a: <https://www.hogar.mapfre.es/bricolaje/reformas/suelo-radiante-pros-y-contras/> (Accés 2023).
- [71] Ortiz, C. (2018) *Estudio Definitivo:El Suelo Radiante no Provoca varices, Ingeosolar Ahorro Energético*. Disponible a: <http://www.ingeosolar.com/suelo-radiante/suelo-radiante-no-provoca-varices/> (Accés 2023).
- [72] *NTP 679 análisis modal de fallos y efectos. Amfe - INSST*. Disponible a: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba?version=1.0&t=1528460825650 (Accés 2023).
- [73] *Our technology starts with you STMicroelectronics*. Disponible a: https://www.st.com/content/st_com/en.html (Accés 2023).

