

Disseny d'un supervisor remot de temperatura via Bluetooth

Genís Prats Pueyo
Curs 2020-2021 – 2n semestre

Grau en Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació
Disseny de Sistemes Electrònics

Consultor: Carlos Gonzalo Moreno Soriano
Professor responsable: Germán Cobo Rodríguez



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Títol del treball:	<i>Disseny d'un supervisor remot de temperatura via Bluetooth</i>
Nom de l'autor:	<i>Genís Prats Pueyo</i>
Nom del consultor/a:	<i>Carlos Gonzalo Moreno Soriano</i>
Nom del PRA:	<i>Germán Cobo Rodríguez</i>
Data de lliurament:	<i>06/2021</i>
Titulació o programa:	Grau en Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació
Àrea del Treball Final:	<i>Disseny de sistemes electrònics</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Bluetooth, circuit, microcontrolador.</i>
Resum del Treball	
<p>En aquest projecte es dissenyarà un prototip de dispositiu que pugui llegir la temperatura i enviar-la a altres dispositius que hi estiguin connectats de forma remota. Per fer-ho s'utilitzarà la tecnologia Bluetooth, una interfície de ràdio pensada per treballar en distàncies curtes i que no necessita visió directa per a una correcta comunicació.</p> <p>La metodologia que s'utilitzarà serà fraccionar el projecte en tasques que es poden dur a terme de forma independent. Aquestes tasques es presentaran en cadascuna de les quatre entregues previstes, una primera entrega per la planificació i justificació del treball, dues de parcials amb els lliurables de les diferents parts del disseny i una darrera amb la memòria final del projecte.</p> <p>El resultat final del treball serà el disseny i pressupost d'aquest prototip. Aquest resultat permet dir que s'han assolit els objectius generals i específics que es plantejaven en iniciar aquest projecte que, en resum, són utilitzar els coneixements adquirits durant els estudis del grau per fer un disseny complet d'un supervisor remot de temperatura via Bluetooth.</p> <p>A més, es presentaran un seguit d'idees per ampliar els usos i les funcionalitats del prototip dissenyat, ja sigui a través d'aplicacions mòbils o desenvolupant la possibilitat d'utilitzar-lo com a controlador de la temperatura, és a dir, dotant-lo de la capacitat per prendre mesures correctives per modificar la temperatura.</p>	

Abstract:

This project consists in the design of a prototype device that can read temperature and send it to other devices remotely connected to it. The chosen technology to do it will be Bluetooth, a radio interface designed to work at short distances that does not require line of sight to get a proper communication.

The used methodology will be to split the project into basic tasks that can be carried out independently. These tasks will be presented in each of the four planned deliveries, a first delivery for the planning and justification of the project, two intermediate ones with the different parts of the design already finished and a last one with the final report of the project.

The outcome of the project is the design of the prototype and a complete budget. This result allows us to say that the general and specific goals set at the beginning of this project have been achieved, which, in brief, are to use the knowledge acquired during the degree to make a complete design of a remote temperature monitor via Bluetooth.

In addition, a set of ideas is presented to expand the uses and functionalities of the designed prototype, either by creating mobile applications to handle received data or by developing the possibility of using the prototype as a temperature controller, which means to provide it with the ability to perform corrective actions that modify the temperature.

ÍNDEX

1. Introducció	11
1.1. Contextualització i justificació	11
1.1.1. El control de temperatura com a eina indispensable en la seguretat dels productes.....	11
1.1.2. Usuari estàtic o dinàmic. Instal·lació permanent o temporal	11
1.1.3. Supervisor de temperatura via Bluetooth	12
1.2. Objectius del treball	12
1.2.1. Objectius genèrics	12
1.2.1. Objectius específics	12
1.3. Enfocament i mètode.	13
1.4. Gestió de riscos.	17
2. Bluetooth: Una tecnologia amb nom de Rei viking	21
2.1 Característiques principals	21
2.2 Enllaços	22
2.3. Topologia Bluetooth	22
2.4. Protocols Bluetooth	23
2.5. Perfils Bluetooth	24
2.6. Operacions bàsiques	25
2.6.1. Descobriment de dispositius	25
2.6.2. Base de dades de descobriment de serveis.....	26
2.6.3. Connexió a un servei.....	26
2.6.4. Estats dels dispositius: visibilitat i connectivitat	27
2.7. Versions	27
2.8. Classes	29

3. Mòdul Bluetooth	30
4. Sensor de temperatura	33
4.1. Elecció del sistema de mesura de temperatura.....	33
4.1.1. Detecció de temperatura mitjançant un termistor.....	33
4.1.2. Detecció de temperatura mitjançant un díode.....	34
4.1.3. Detecció de temperatura mitjançant una RTD	35
4.2. Circuit d'adaptació	36
5. Microcontrolador	41
5.1. Elecció del microcontrolador	42
5.2. Programa de control	44
5.2.1. Diagrama de funcionament	44
5.2.2. Estructura del programa.....	45
6. Font d'alimentació.....	51
6.1. Introducció a les fonts d'alimentació	51
6.2. Anàlisi de consum del dispositiu.....	51
6.3. Disseny de la font d'alimentació	52
6.3.1. Disseny de la font de 3.3 V	52
6.3.1. Disseny de la font de 5 V	54
6.3.3. Disseny de la font de 15 V	56
6.3.4. Disseny de la font de -15 V	57
7. Layout de la PCB.....	60
7.1. Creació dels mòduls	60
7.2. Esquemàtic del circuit	62
7.3. Layout.....	64
7.4. Elecció de la placa.....	67
7.5. Valoració econòmica del prototip	67

8. Conclusions i ampliació	70
8.1. Consecució dels objectius fixats	70
8.2. Anàlisi de la metodologia i de la gestió dels riscos	71
8.3. Futures línies de treball	72
Glossari	74
Bibliografia.....	75
Llocs web consultats	76

ÍNDEX DE FIGURES

<i>FIGURA 1: DIAGRAMA DE GANTT</i>	16
<i>FIGURA 2: ESQUEMA SCATTERNET</i>	23
<i>FIGURA 3: PILA DE PROTOCOLS BLUETOOTH</i>	23
<i>FIGURA 4: DESCOBRIMENT DE DISPOSITIUS</i>	25
<i>FIGURA 5: OBTENCIÓ DE LA INFORMACIÓ DE SERVEI</i>	26
<i>FIGURA 6: DETALL RN41</i>	31
<i>FIGURA 7: DIAGRAMA DE BLOCS RN41</i>	32
<i>FIGURA 8: ESQUEMA PINS RN41</i>	32
<i>FIGURA 9: RELACIÓ I/V DÍODE 1N4148</i>	34
<i>FIGURA 10: DETALL RTD PT100 35110017</i>	35
<i>FIGURA 11: PONT DE WHEATSTONE</i>	36
<i>FIGURA 12: PONT DE WHEATSTONE PER 0 °C</i>	37
<i>FIGURA 13: PONT DE WHEATSTONE PER 140 °C</i>	38
<i>FIGURA 14: AMPLIFICADOR DIFERENCIAL</i>	38
<i>FIGURA 15: CIRCUIT AMPLIFICADOR DIFERENCIAL</i>	39
<i>FIGURA 16: CIRCUIT ADAPTACIÓ – 0 °C</i>	40
<i>FIGURA 17: CIRCUIT ADAPTACIÓ – 140 °C</i>	40
<i>FIGURA 18: ARQUITECTURA VON NEWMAN</i>	41
<i>FIGURA 19: ARQUITECTURA HARVARD</i>	42
<i>FIGURA 20: MICROCONTROLADOR PIC16F873A</i>	43
<i>FIGURA 21: PINS PIC16F873A</i>	44
<i>FIGURA 22: DIAGRAMA DE FUNCIONAMENT DEL PROGRAMA DE CONTROL</i>	44
<i>FIGURA 23: CONTINGUT DEL FITXER PORTS_UART.H</i>	45
<i>FIGURA 24: CONTINGUT DEL FITXER PORT_ADC.H</i>	46
<i>FIGURA 25: CONTINGUT DEL FITXER BLUETOOTH.H (1/2)</i>	47
<i>FIGURA 26: CONTINGUT DEL FITXER BLUETOOTH.H (2/2)</i>	48
<i>FIGURA 27: CONTINGUT DEL FITXER SUPERVISOR.C</i>	49

<i>FIGURA 28: SIMULACIÓ A 3.3 V</i>	50
<i>FIGURA 29: SIMULACIÓ A 1.65 V</i>	50
<i>FIGURA 30: SIMULACIÓ A 0 V</i>	50
<i>FIGURA 31: ESQUEMA DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ DE 3.3 V</i>	53
<i>FIGURA 32: EVOLUCIÓ DE LA TENSIÓ - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 3.3 V</i>	53
<i>FIGURA 33: EFICIÈNCIA - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 3.3 V</i>	54
<i>FIGURA 34: ESQUEMA DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ DE 5 V</i>	54
<i>FIGURA 35: EVOLUCIÓ DE LA TENSIÓ - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 5 V</i>	55
<i>FIGURA 36: EFICIÈNCIA - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 5 V</i>	55
<i>FIGURA 37: ESQUEMA DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ DE 15 V</i>	56
<i>FIGURA 39: EFICIÈNCIA - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 15 V</i>	57
<i>FIGURA 40: ESQUEMA DE LA FONT D'ALIMENTACIÓ DE 15 V</i>	58
<i>FIGURA 41: EFICIÈNCIA - FONT D'ALIMENTACIÓ DE 15 V</i>	59
<i>FIGURA 42: LMZM23601 – INFORMACIÓ FULL DE CARACTERÍSTIQUES (ESQUERRA) – DISSENY EAGLE (DRETA)</i>	60
<i>FIGURA 43: LMR16006 – INFORMACIÓ FULL DE CARACTERÍSTIQUES (ESQUERRA) – DISSENY EAGLE (DRETA)</i>	61
<i>FIGURA 44: LMZ34002 – INFORMACIÓ FULL DE CARACTERÍSTIQUES (ESQUERRA) – DISSENY EAGLE (DRETA)</i>	61
<i>FIGURA 45: RN41 – INFORMACIÓ FULL DE CARACTERÍSTIQUES (ESQUERRA) – DISSENY EAGLE (DRETA)</i>	62
<i>FIGURA 46: ESQUEMÀTIC DEL SUPERVISOR DE TEMPERATURA</i>	63
<i>FIGURA 47: LAYOUT DEL SUPERVISOR DE TEMPERATURA</i>	65
<i>FIGURA 48: VISTA TOP PLACA PCB</i>	66
<i>FIGURA 49: VISTA BOTTOM PLACA PCB</i>	66
<i>FIGURA 50: PLACA Matriu AG631</i>	67

ÍNDIX DE TAULES

TAULA 1: PLA DE TREBALL	15
TAULA 2: IDENTIFICACIÓ DE RISCOS	17
TAULA 3: ACCIONS PREVENTIVES I CORRECTORES	18
TAULA 4: VERSIONS BLUETOOTH	28
TAULA 5: COMPARATIVA MÒDULS BLUETOOTH	30
TAULA 6: CONSUMS MÀXIMS	52
TAULA 7: VALORS DE R_{SET} EN FUNCIÓ DE V_{OUT}	58
TAULA 8: VALORACIÓ ECONÒMICA DEL PROTOTIP	69

1. Introducció

1.1. Contextualització i justificació

1.1.1. El control de temperatura com a eina indispensable en la seguretat dels productes

Tots els processos de fabricació, transport i conservació de qualsevol producte tenen una temperatura de treball que permet que els productes aconseguits tinguin la qualitat i la seguretat que els pertoca.

La actualitat més recent i el procés de vacunació contra la Covid19 ha posat de manifest la importància dels requeriments de temperatura en tota la logística associada a la seva fabricació i transport. La diferència entre una vacuna que es conserva a la temperatura d'una nevera domèstica (2-8°C), d'un congelador industrial estàndard (-20°C) o d'un ultracongelador (-80°C), fa variar enormement els protocols que s'han de seguir per la seva distribució i, en darrera instància, utilització.

Aquest és només un exemple de tots els processos que venen marcats per les condicions tèrmiques que els materials requereixen, una esterilització per sota de 100°C no tindria cap efecte, transportar gasoil per sobre de 40°C és extremadament perillós i com aquests un llarg etcètera de casos en els que una mala gestió de la temperatura pot ser crític.

És per això que el primer pas per controlar tots aquests processos ha de ser la monitorització d'aquesta temperatura, no podem actuar sobre el que no coneixem.

1.1.2. Usuari estàtic o dinàmic. Instal·lació permanent o temporal

En darrer terme, una monitorització de temperatura només té sentit si algú té accés a les dades reportades. Podem visualitzar un magatzem farmacèutic on diferents sondes mesurin les temperatures a les seves diferents instal·lacions (neveres, congeladors, pulmons de recepció i expedició, etcètera) i mitjançant un cablejat permanent reportar aquestes dades en un o diversos displays, on els responsables puguin visualitzar-les i connectat a alarmes en cas d'excursions de temperatura.

Però plantejem-nos ara que aquell producte del que en volem controlar la temperatura estigui en moviment, lògicament la sonda haurà d'acompanyar-lo i no existeix la possibilitat de cables.

També podem pensar en un estand d'una fira, que necessita monitoritzar la temperatura de certa sala, però només durant la setmana que durarà el congrés, fer tota una instal·lació de cables i displays per uns pocs dies no tindria sentit.

1.1.3. Supervisor de temperatura via Bluetooth

Aquí és on entra el nostre projecte, que pretén dissenyar un prototip de dispositiu que pugui llegir la temperatura i enviar-la a altres dispositius que hi estiguin connectats de forma remota. Per fer-ho ens basarem en la tecnologia Bluetooth, una interfície de ràdio pensada per treballar en distàncies curtes.

El resultat final del treball serà el disseny i pressupost d'aquest prototip, així com un seguit d'idees per ampliar-ne els usos i les funcionalitats ja sigui a través d'aplicacions mòbils o de la possibilitat d'utilitzar-lo com a controlador de la temperatura, és a dir dotant-lo de la capacitat per prendre mesures correctives sobre la temperatura.

1.2. Objectius del treball

1.2.1. Objectius genèrics

- Estudiar la tecnologia Bluetooth, així com el mercat dels seus mòduls.
- Adaptar i digitalitzar senyals analògics.
- Programar microcontroladors.
- Disseny de font d'alimentació.
- Disseny del layout de la placa PCB.

1.2.1. Objectius específics

- Dissenyar un supervisor remot de temperatura via Bluetooth.
- Dissenyar una font d'alimentació i els circuits d'adaptació de les entrades i sortides a nivells del microcontrolador.

1.3. Enfocament i mètode.

Per tal d'arribar a bon port, el treball es dividirà en quatre fases, que coincidiran amb les entregues de les PAC corresponents:

- **Fase 0: Inici del treball. Elecció de l'enunciat i planificació.**

Aquesta primera fase és en la que ens trobem en el moment de redactar aquest document. Comprèn la tria de l'enunciat i la realització del pla de treball, així com l'adequació de l'entorn de treball, inclosa la cerca, descàrrega i instal·lació del software.

Aquesta fase finalitza amb l'entrega de la PAC 1

- **Fase 1: Mòdul Bluetooth i circuit d'adaptació de la temperatura.**

Aquesta fase es subdividirà en dues parts, una pel mòdul Bluetooth i una altra per circuit d'adaptació de temperatura:

- Fase 1.a: Mòdul Bluetooth.

En aquesta part es farà una breu introducció teòrica de la tecnologia Bluetooth, s'analitzaran les diferents opcions disponibles i es farà un estudi de mercat per determinar quin mòdul Bluetooth és el més adequat pel nostre disseny, comentant-ne les característiques més rellevants.

- Fase 1.b: Circuit de captació de temperatura.

En aquesta fase farem una cerca de les diferents opcions que tenim i escollirem un sensor de temperatura. Dissenyarem el circuit que permeti mesurar la temperatura de forma analògica i adaptarem aquest senyal per tal que el microcontrolador hi pugui treballar. El sensor haurà de ser capaç de treballar en el rang 20-120°C amb una precisió mínima d'1°C.

Aquesta fase conclourà amb l'entrega de la PAC 2.

- **Fase 2: Processador i font d'alimentació.**

Com en el cas anterior, aquí també es distingeixen dues parts, una relativa al microcontrolador i l'altra a la font d'alimentació.

- Fase 2.a: Microcontrolador.

En aquesta part escollirem el microcontrolador que utilitzarem al nostre disseny, per això cal que sigui capaç de complir amb les tasques que necessitem, i en programarem l'algoritme perquè pugui recollir i emmagatzemar les dades de temperatura obtingudes i controlar el bon funcionament del mòdul Bluetooth, reiniciant-lo si és precís.

- Fase 2.b: Font d'alimentació.

Un cop tenim tots els mòduls que han de compondre el nostre disseny ens quedarà dotar-los del corrent necessari. Atès que dispondrem d'una entrada de 24V de corrent contínua, dissenyarem el circuit necessari perquè els diferents blocs puguin obtenir les tensions de treball necessàries.

Aquesta fase desembocarà en l'entrega de la PAC3.

- **Fase 4: Layout placa PCB i tancament del projecte.**

Arribats a aquest punt, haurem de dissenyar el layout de la placa per tal que tots els mòduls hi estiguin integrats. Això donarà lloc a un arxiu amb el disseny de pistes sobre una placa PCB i serà el lliurament final del projecte.

En aquesta fase també es prepararà la memòria, que inclourà, a més dels passos seguits, un seguit de conclusions i aprenentatges sorgits del treball, així com idees per seguir desenvolupant el disseny per incorporar-hi noves funcionalitats.

Aquests arxius, juntament amb la presentació del treball conformaran el darrer lliurament, la PAC4.

A la taula següent es pot trobar la relació de tasques del pla de treball, s'han considerat setmanes de 5 dies laborables. El resultat és el diagrama de Gantt que la segueix.

Fase	Tasca	Lliurable	Data inici	Data final	Durada
Fase 0: Pla de treball			19/02/2021	05/03/2021	11 dies
	Cerca i documentació		19/02/2021	26/02/2021	6 dies
	Redacció PAC		01/03/2021	03/03/2021	3 dies
	Creació entorn treball PC		04/03/2021	05/03/2021	2 dies
		PAC1		08/03/2021	
Fase I			08/03/2021	01/04/2021	19 dies
Fase I. A: Mòdul Bluetooth			08/03/2021	16/03/2021	7 dies
	Estudi tecnologia Bluetooth		08/03/2021	08/03/2021	1 dia
	Estudi mercat mòdul Bluetooth		09/03/2021	10/03/2021	2 dies
	Elecció i justificació		11/03/2021	12/03/2021	2 dies
	Redacció		15/03/2021	16/03/2021	2 dies
Fase I. B: Sensor de temperatura			17/03/2021	01/04/2021	12 dies
	Elecció sensor		17/03/2021	18/03/2021	2 dies
	Disseny circuit d'adaptació		19/03/2021	26/03/2021	6 dies
	Proves funcionament		29/03/2021	30/03/2021	2 dies
	Redacció		31/03/2021	01/04/2021	2 dies
		PAC2		05/04/2021	
Fase II			05/04/2021	06/05/2021	25 dies
Fase II. A: Processador			05/04/2021	20/04/2021	12 dies
	Elecció microcontrolador		05/04/2021	06/04/2021	2 dies
	Algorisme de control		07/04/2021	14/04/2021	6 dies
	Proves funcionament		15/04/2021	16/04/2021	2 dies
	Redacció		19/04/2021	20/04/2021	2 dies
Fase II. B: Font d'alimentació			21/04/2021	06/05/2021	12 dies
	Alimentació mòdul Bluetooth		21/04/2021	22/04/2021	2 dies
	Alimentació sensor temperatura		23/04/2021	26/04/2021	2 dies
	Alimentació microcontrolador		27/04/2021	28/04/2021	2 dies
	Unificació circuit		29/04/2021	30/04/2021	2 dies
	Proves funcionament		03/05/2021	04/05/2021	2 dies
	Redacció		05/05/2021	06/05/2021	2 dies
		PAC3		10/05/2021	
Fase III: Layout placa i tancament			07/05/2021	14/06/2021	27 dies
	Elecció de placa		07/05/2021	10/05/2021	2 dies
	Disseny layout		11/05/2021	18/05/2021	6 dies
	Proves funcionament		19/05/2021	21/05/2021	3 dies
	Pressupost total del disseny		24/05/2021	25/05/2021	2 dies
	Redacció memòria		26/05/2021	01/06/2021	5 dies
	Diapositives presentació		02/06/2021	04/06/2021	3 dies
	Vídeo presentació		07/06/2021	07/06/2021	1 dia
		PAC4		14/06/2021	

Taula 1: Pla de treball

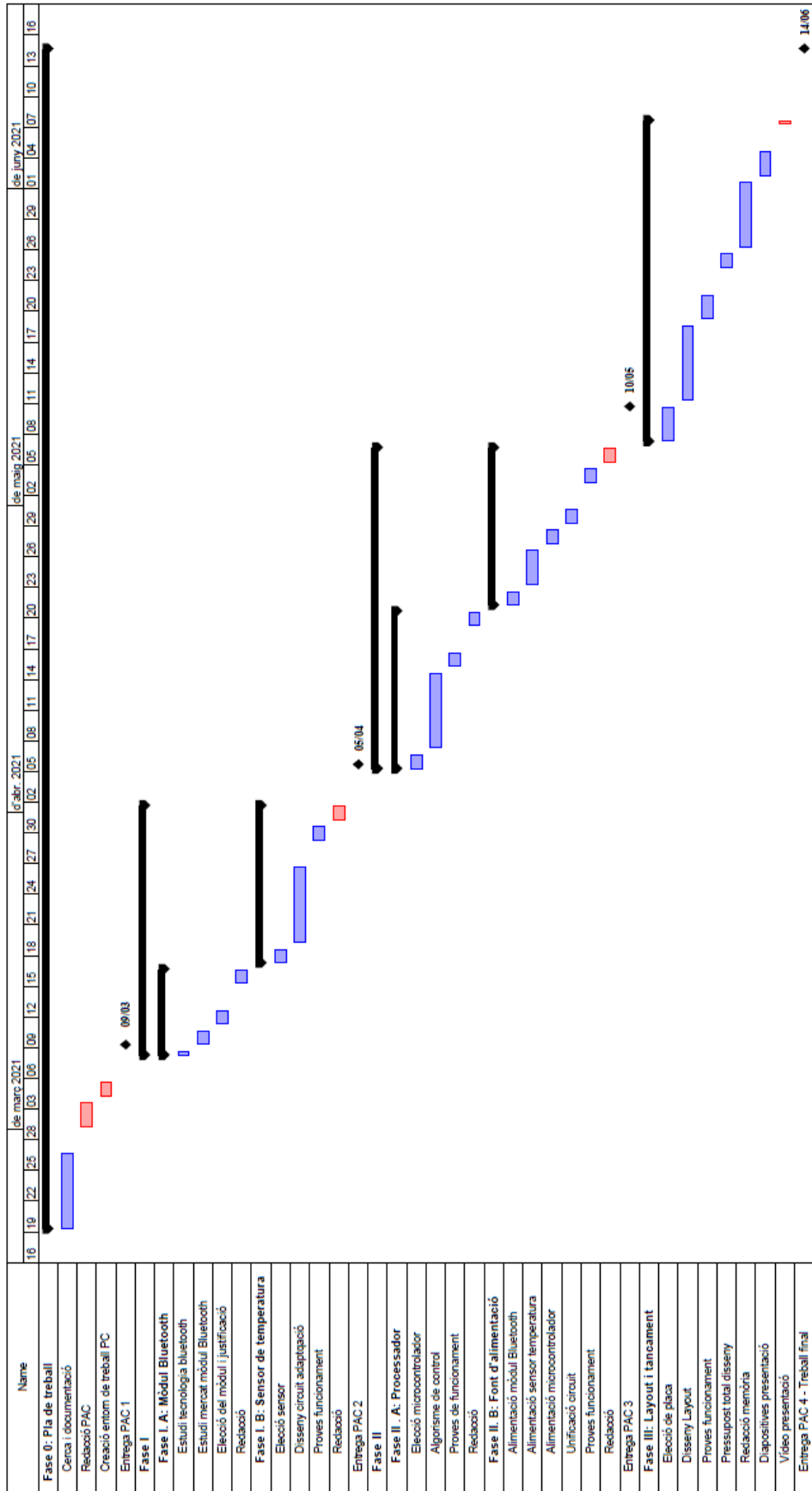


Figura 1: Diagrama de Gantt

1.4. Gestió de riscos.

Durant la realització del pla de treball s'han detectat alguns riscos que poden, de no tractar-se adequadament, fer perillar la correcta realització del projecte, els hem enumerat en aquest quadre de riscos, així com de les mesures preventives i correctores que hi aplicarem. Posteriorment en farem l'explicació amb més detall.

Taula d'identificació de riscos

Codi	Descripció	Conseqüència	Probabilitat	Impacte	Nivell
R01	Dimensionament erroni de la durada de les tasques de disseny.	Endarreriment en la finalització d'alguna de les tasques que provoqui no arribar a la data d'entrega d'algun lliurament.	ALTA	ALT	ALT
R02	Modificacions i correccions sobre els lliuraments un cop finalitzada cada fase.	No possibilitat de correcció sense posposar la data d'entrega de la PAC.	BAIXA	ALT	MIG
R03	Problemes en la descàrrega i/o llicència del software necessari	Endarreriment en l'inici de les tasques dependents d'aquell programa.	BAIXA	MIG	BAIX
R04	Fallada de l'equip de treball.	Repetició de totes les tasques amb la pèrdua de temps associada. No disponibilitat d'equip per finalitzar la resta de tasques	MOLT BAIXA	MOLT ALT	MIG

Taula 2: Identificació de riscos

Taula d'accions preventives i correctores

Codi	Acció	Tipus d'acció	Risc residual	Data límit
A1R01	Habilitació de caps de setmana en cas d'enraderiment en alguna tasca.	Correctora	BAIX	NO
A2R02	Interval de temps entre la finalització de tasques de cada fase i el lliurament associat.	Preventiva	MOLT BAIX	NO
A3R03	Addició de tasca d'instal·lació de software en fase 0. Revisió de funcionament abans de cada fase.	Preventiva	MOLT BAIX	05/03/21
A4R04	Còpia de seguretat al drive després de cada sessió de treball i a disc ur després de cada fase.	Preventiva	MOLT BAIX	NO
A5R04	Habilitació d'antic PC per poder treballar-hi en cas d'emergència.	Preventiva	MOLT BAIX	08/03/21

Taula 3: Accions preventives i correctores

- **Risc R01: Dimensionament erroni de la durada de les tasques de disseny.**

Durant tota la durada dels estudis del grau s'han anat fent petits projectes i treballs per anar assolint els coneixements necessaris per tal de dur a terme el TFG, però cap de tant complex i, sobretot, amb una càrrega tant important de feina pràctica, especialment pel que fa als dissenys dels circuits. Això genera una certa inseguretat en el moment d'assignar la durada de cada tasca, una mala estimació pot provocar que una tasca en concret requereixi més temps del previst, resultant-ne un endarreriment global de totes les fites de la fase i, en el cas crític, del lliurament final.

Per limitar aquest efecte s'ha decidit fer un seguiment setmanal de la temporització del projecte cada divendres i, en cas de detectar endarreriment, habilitar els caps de setmana com a hores vàlides per treballar, d'aquesta forma s'aconseguirà complir amb el calendari previst.

Aquesta acció es recull a la taula amb el codi A1R01.

- **Risc R02: Correccions sobre els lliuraments.**

Com a darrera tasca en cadascuna de les fases es procedirà a la redacció de la PAC corresponent que conforma el lliurament. Existeix la possibilitat que, durant la redacció del document o a causa d'alguna correcció feta pel consultor, s'hagi de fer alguna modificació en algun dels punts, depenent de l'abast d'aquesta modificació, el canvi pot ser important i requerir força temps per aplicar-se.

Per tal de minimitzar aquest risc, s'han planificat les fases de tal forma que tinguin totes les tasques finalitzades uns dies abans del lliurament de les PAC, d'aquesta forma s'hauria de poder modificar el que calgués sense arribar a endarrerir-ne la data d'entrega.

Aquesta acció es recull a la taula amb el codi A2R02.

- **Risc R03: Problemes amb el software.**

Per tal de dur a terme les tasques de disseny i de programació associades a cada fase haurem d'utilitzar un software específic i la seva descàrrega o l'obtenció de les llicències necessàries poden complicar-se de forma inesperada. Si en el moment de començar una de les tasques no tenim disponible el programari necessari, això inevitablement desembocarà en un endarreriment en la data d'inici d'aquesta tasca i, per tant en la de la seva finalització.

Amb l'objectiu de pal·liar aquest risc, la instal·lació del programari s'inclou com a tasca específica en la fase 0, és a dir, que quedarà feta en el moment de l'entrega d'aquesta PAC. A més, uns dies abans de començar cada fase es revisarà que el software estigui correctament actualitzat i cap llicència hagi caducat, d'aquesta manera s'assegurarà que estigui a punt en el moment d'iniciar les tasques.

- **Risc R04: Pèrdua d'informació per fallida de l'equip.**

Atès que totes les tasques del projecte es realitzaran sobre el mateix equip, així que una fallida, un virus o un robatori o pèrdua seria crítica per dos motius. D'una banda, la pèrdua de tota la feina feta associada, cosa que per força derivaria en un endarreriment general de totes les tasques i, per tant, dels lliuraments, d'altra banda la no disponibilitat d'un equip on seguir treballant. És per això que es duran a terme dues accions preventives:

La primera, recollida amb el codi A4R04, impactarà directament en la rutina de treball, després de cada sessió es farà còpia de seguretat dels arxius generats o actualitzats al Drive, d'aquesta forma una fallada només podria afectar, com a màxim a la feina d'un dia. Al finalitzar cada fase, a més, la informació es guardarà en un disc dur extern.

La segona mesura, amb codi A5R04, destinada a tenir un equip de treball d'emergència, és que s'ha habilitat l'antic PC que tenim a casa, s'ha dotat d'un disc dur SSD, actualitzat i posat a punt. D'aquesta forma, en cas que la reparació de l'equip principal s'allargués o, en el pitjor dels casos, que no es pogués reparar, es seguiria disposant d'una plataforma des d'on seguir el treball que, encara que no fos òptima, ens permetria salvar l'obstacle.

2. Bluetooth: Una tecnologia amb nom de Rei viking

Durant la dècada dels 90 del segle passat, la forta expansió que experimentava el món de la telefonia mòbil va fer que els fabricants busquessin nous mètodes d'intercanvi d'informació entre dispositius. L'any 1994, la companyia sueca Ericsson Mobile va iniciar un projecte anomenat MCLink, que permetia enllaços de curt abast entre dispositius mòbils mitjançant una interfície de radio de baixa potència i baix cost.

Aquesta investigació de seguida va atraure l'atenció d'un grup de gegants tecnològics (Ericsson, IBM, Intel, Nokia i Toshiba) que van crear un SIG (de l'anglès Special Interest Group), un grup de treball que va unir els esforços d'aquestes grans companyies per desenvolupar la idea de Ericsson. Actualment aquest grup està format per més de 20000 empreses.

Inicialment, Bluetooth no era el nom que havia de rebre aquesta tecnologia, era només un àlies d'una de les versions beta del projecte, però va agradar a l'equip de màrqueting i va quedar com a definitiu. Bluetooth és la traducció anglesa de Blåtand, Herald Blåtand va ser el rei viking que va unificar Dinamarca al segle X i els responsables van entendre que era una metàfora adient per una tecnologia que pretenia unificar i harmonitzar les connexions entre diferents dispositius.

La primera especificació Bluetooth, coneguda com a Bluetooth 1.0 va veure la llum l'any 1999 i va ser ratificada el 2002 amb l'estàndard IEEE 802.15.1-2002 en la versió 1.1.

2.1 Característiques principals

El conjunt d'especificacions Bluetooth desenvolupades pel grup de treball segueix l'objectiu de garantir connectivitat sense fils de curt abast per a xarxes ad hoc, xarxes descentralitzades que no tenen una infraestructura pròpia.

El protocol de banda base de Bluetooth és una combinació de commutació de circuits i de paquets, aquesta combinació la fa òptima ja sigui per transmetre dades o comunicacions de veu.

La implementació es fa mitjançant transceptors de curt abast, que tenen una mida molt petita i un cost molt baix, essent doncs idonis per dispositius mòbils. La freqüència de treball serà la banda de 2.4 GHz.

2.2 Enllaços

A la especificació Bluetooth s'han definit dos tipus d'enllaç, que poden implementar-se simultàniament:

- **Enllaç asíncron sense connexió (ACL):** Pensat per la transmissió de dades d'usuari o de control. Aquest tipus d'enllaç, amb commutació per paquets i punt a multipunt, no ofereix garantia d'entrega.
- **Enllaç síncron orientat a connexió (SCO):** Aquest tipus d'enllaç crea connexions simètriques per commutació de circuits punt a punt. Aquestes connexions reserven un ample de banda per tota la connexió, cosa que les fa especialment adients per transmissions de veu en temps real o multimèdia.

L'ús de la tecnologia d'expansió d'espectre amb salts de freqüència dota d'una gran robustesa aquests enllaços de ràdio. Aquesta tècnica es basa en incrementar els bits transmesos en l'operació de codificació, d'aquesta forma qualsevol oient que no sigui el receptor designat només observarà soroll. El receptor contraurà la senyal mitjançant una operació de correlació, retornant-la a la forma original.

2.3. Topologia Bluetooth

Una picoxarxa (piconet) és un conjunt d'unitats que comparteixen un canal comú. Cada picoxarxa pot contenir fins a vuit dispositius actius, un d'ells és el *mestre*, que s'encarrega de sincronitzar la picoxarxa amb el seu rellotge i en controla els salts i la resta de dispositius de la xarxa són *esclaus* del *mestre*, és a dir, poden oferir serveis però depenen del mestre per la seva sincronització.

Cada picoxarxa només pot tenir un element *mestre*, i alhora aquest *mestre* (o un dels esclaus) pot actuar en una altra picoxarxa com a *esclau*, formant així una agrupació de xarxes disperses o *scatternet*. Cada picoxarxa s'identifica amb una freqüència de salts.

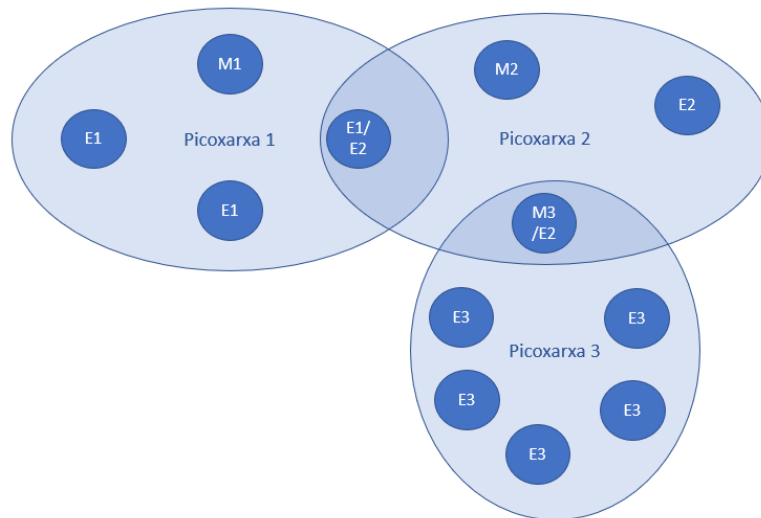


Figura 2: Esquema scatternet

2.4. Protocols Bluetooth

Un dels objectius principals de la tecnologia Bluetooth és permetre una comunicació fluida entre dispositius de diversos fabricants, per aconseguir-ho, receptor i transmissor han d'executar-se sobre la mateixa pila de protocols:

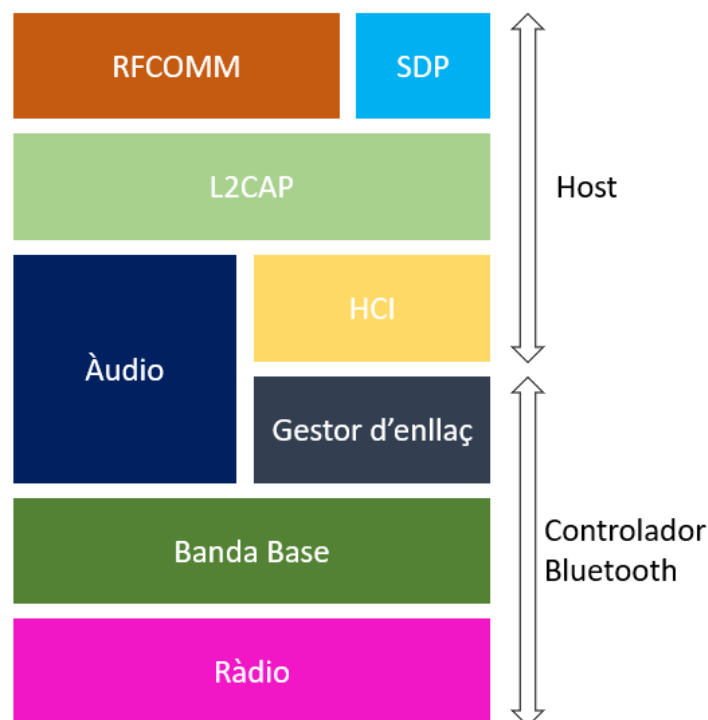


Figura 3: Pila de protocols Bluetooth

Anomenem host a la capa alta de la pila d'aplicacions, habitualment estan implementats al software integrat al sistema operatiu del dispositiu. El controlador Bluetooth o mòdul de ràdio és el component de hardware, pot estar integrat o ser un mòdul independent.

- **Ràdio:** Defineix els requisits a seguir pel transceptor del dispositiu.
- **Banda base:** Gestiona els canals i la temporització i controla l'accés als canals. Permet l'enllaç RF físic.
- **Gestor d'enllaç (LMP):** Responsable de l'establiment i configuració de l'enllaç entre els dispositius, gestionant i negociant la mida dels paquets de banda base. També és l'encarregat de la seguretat (autenticació, encriptació, generació i control de claus...).
- **HCI (*Host Controller Interface*):** Proporciona una interfície amb les capes inferiors.
- **L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol*):** Encarregat de Multiplexació entre els canals lògics de les capes superiors, de l'acoblament i desacoblament dels paquets i de la gestió de la QoS (qualitat de servei).
- **RFCOMM (*Radio Frequency Communication*):** També conegut com emulació de ports sèrie, és un conjunt simple de protocols de transport, construïts sobre el protocol L2CAP. Proporcionen 60 connexions simultànies emulant ports sèrie RS-232. El protocol adaptat OBEX està construït sobre aquest protocol.
- **SDP (*Service Discovery Protocol*):** Proporciona a les aplicacions un mitjà per les seves cerques de serveis.

2.5. Perfils Bluetooth

Es defineixen diferents perfils diferents segons l'ús de les diferents parts que marca la seva especificació en cada cas particular. Dos perfils poden fer servir un conjunt de protocols i característiques diferents tot i trobar-se en la mateixa capa de la pila de protocols. Un dispositiu Bluetooth pot suportar un o més perfils, n'hi ha quatre de bàsics:

- **Perfil d'Accés Genèric (GAP):** és el perfil bàsic, la resta de perfils es basen en ell. Defineix el procediment general per establir una connexió, inclosos

el descobriment de dispositius, la gestió i configuració de l'enllaç i els procediments de seguretat.

- Perfil d'aplicació en el descobriment de serveis (SDAP): Descriu les operacions necessàries per dur a terme el descobriment de serveis.
- Perfil de port de sèrie (SPP): Defineix els requisits per establir una connexió emulant cables utilitzant RFCOMM.
- Perfil d'intercanvi genèric d'objectes (GOEP): Perfil abstracte sobre el que es construeixen models d'ús més concrets. Tots aquests models seran perfils que utilitzen el protocol OBEX.

A partir d'aquests perfils n'existeixen un gran nombre, creixent cada dia, però sempre depenent jeràrquicament d'un d'ells.

2.6. Operacions bàsiques

2.6.1. Descobrimet de dispositius

Els dispositius que ofereixen un servei determinat van comprovant periòdicament si algun altre dispositiu requereixen el seu ús. Quan un dispositiu necessita utilitzar un servei el primer que fa és cercar els dispositius Bluetooth que hi ha al seu entorn.

Aquest procediment comença amb la retransmissió per part del dispositiu client d'una sèrie de paquets *inquiry* mitjançant els quals es demana informació. El dispositiu que ofereix el servei (servidor) respondrà amb un paquet de sincronització de salt en freqüència (FHS).

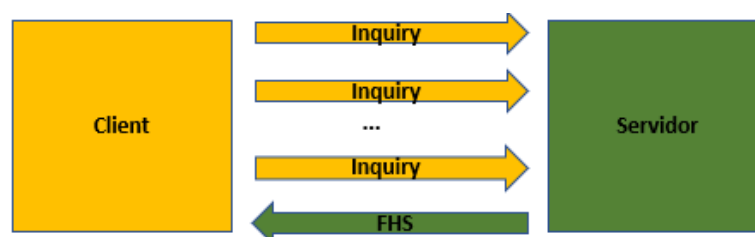


Figura 4: Descobrimet de dispositius

Aquest paquet FHS conté tota la informació que el client necessita per establir una connexió amb el servidor i la classe del dispositiu composta de dues parts, *major* i *minor*, la primera part indica que el que s'ha trobat és un servidor i la segona detalla el tipus de servidor que és.

Tots els servidors que rebin aquesta inquiry enviaran la seva resposta FHS, d'aquesta forma el client tindrà un llistat de dispositius servidors, com gestioni aquesta informació dependrà de la implementació del dispositiu en particular.

2.6.2. Base de dades de descobriment de serveis

Per saber si un dispositiu suporta un servei determinat és necessari connectar-se al dispositiu i executar el protocol SDP.

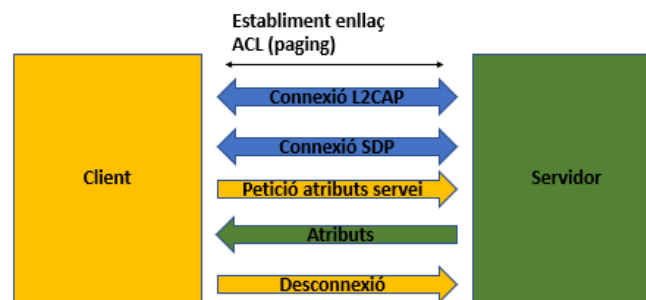


Figura 5: Obtenció de la informació de servei

En primer lloc el client fa una petició (page) al servidor, utilitzant la informació obtinguda mitjançant el procediment *inquiry/FHS*. Si el servidor està disponible respondrà i es crearà la connexió ACL entre els dos dispositius.

Sobre aquesta connexió es realitzarà la connexió L2CAP i, sobre aquesta, la SDP. En aquest punt el client demanarà els atributs del servei i el servidor els hi donarà. Per últim el client afegirà el servei a la seva base de dades i tancarà la connexió.

2.6.3. Connexió a un servei

Aquest procés començarà també amb l'establiment de l'enllaç ACL mitjançant el *paging*. Ara, però, aquest enllaç s'estableix per un protocol determinat que pot tenir uns requisits de QoS particulars. L'aplicació del client ha de ser capaç de configurar l'enllaç per complir els requisits, ho farà a través de la interfície HCI amb els protocols de gestió d'enllaç

Un cop aquesta connexió s'estableix i sobre ella es crea la connexió L2CAP, es podrà crear la connexió RFCOMM que multiplexarà diferents serveis utilitzant una sola connexió.

A partir d'aquest moment el client pot començar a utilitzar els serveis del servidor, que seguirà disponible per a altres clients. Si durant la connexió el servidor surt del rang del client, aquest haurà de buscar un nou proveïdor pel servei.

2.6.4. Estats dels dispositius: visibilitat i connectivitat

Per tal de crear una connexió entre dos dispositius ambdós han d'estar en un estat que ho permeti.

Un dispositiu pot estar en un mode en que no explora cercant dispositius, no emet paquets *inquiry* ni els respon amb FHS, així doncs, per la resta de dispositius romandrà invisible. Aquest és el mode d'invisibilitat.

Tot i estar visible, un dispositiu pot no acceptar connexions, en aquest mode els altres dispositius sí seran capaços de trobar-lo, però no escoltarà cap page, i per tant no establirà cap connexió. Direm que està en mode no connectable.

Aquest estat s'escollirà mitjançant aplicacions, però cap connexió pot forçar-se en un dispositiu que està en un estat que no la permet.

2.7. Versions

Des que el 1999 el SIG va crear la versió inicial de Bluetooth i el posterior llançament de la versió 1.1, la primera versió comercial, aquesta tecnologia ha avançat per adaptar-se a les noves necessitats del mercat, així com als avenços tecnològics en el camp de les IT.

La segona gran versió, la 2.0, va arribar l'any 2004 i va introduir la taxa millorada de dades (Enhanced Data Rate en anglès), que li permetia obtenir una velocitat de més de 2 Mbps. La versió 2.1 va afegir el que seria un gran canvi en aquesta tecnologia, la possibilitat que un terminal pogués afegir-ne un altre i connectar-se automàticament sense necessitat d'una contrasenya (PIN).

La versió 3.0, també anomenada Bluetooth 3.0 HS per les sigles de High Speed, va ser llançada l'any 2009, com el seu nom indica va suposar un salt molt gran pel que fa a la velocitat de transmissió, podent arribar als 24 Mbps.

És, però, en arribar a la versió 4.0 quan trobem una de les grans transformacions que ha sofert aquesta tecnologia. La necessitat d'incorporar Bluetooth a dispositius cada cop més petits i independents, però que no necessitaven altes taxes ja que treballaven amb dades senzilles, feia imprescindible la reducció del consum i la potència que requeria Bluetooth. Per això es van crear els protocols Low Energy (BLE), que, oferint una taxa de transmissió de 1 Mbps reduïen molt

el seu consum. Això va permetre adaptar Bluetooth al creixent moviment de IoT (Internet of Things) en la versió 4.1, de l'any 2013, que elimina la necessitat d'intermediaris. La versió 4.2, del 2014, incorpora l'adreçament IPv6 dels dispositius.

La darrera gran versió és la 5.0, de l'any 2016, que duplica la taxa de transferència i en quadruplica l'abast, mantenint la opció de baix consum per a IoT. La versió 5.1 del 2019 incorpora la novetat de la localització dels dispositius connectats amb un marge d'error de centímetres. La darrera modificació, la 5.2 de 2020, presenta el perfil EATT (Enhanced Attribute Protocol), que permet, en cas que diversos dispositius BLE estiguin disponibles, millorar la taxa de transmissió, reduir el consum i estabilitzar la connexió, permetent l'àudio així en BLE.

Versió	Any de llançament	Velocitat màxima de transmissió	Novetats principals
1.0	1999	732,2 kbps	Primera versió oficial
1.1	2002	732,2 kbps	Primera versió comercial Estàndard 802.15.1-2002
1.2	2003	1 Mbps	AFH
2.0	2004	2,1 Mbps	EDR
2.1	2007	2,1 Mbps	Connexió sense PIN
3.0	2009	24 Mbps	Canal addicional d'alta velocitat basat en WiFi i Ultra Wide Band
4.0	2010	24 Mbps (BLE: 1 Mbps)	BLE
4.1	2013	24 Mbps	Dispositius petits sense intermediaris
4.2	2014	24 Mbps	Incorpora IPv6
5.0	2016	50 Mbps	Millora l'abast i les taxes de transmissió
5.1	2019	50 Mbps	Permet determinar la ubicació dels dispositius connectats
5.2	2020	50 Mbps	EATT

Taula 4: Versions Bluetooth

2.8. Classes

Els dispositius Bluetooth es classifiquen segons la seva potència de transmissió i la seva cobertura efectiva. Cal destacar que en aquesta tecnologia el límit en cas de connexió entre dispositius de dues classes el marca el més potent.

- Classe 1: Té un abast de fins a 100 m, amb una potència de consum mitjà de 100 mW.
- Classe 2: Té un abast de fins a 20 m, amb una potència de consum mitjà de 2,5 mW.
- Classe 3: Té un abast de fins a 1 m, amb una potència de consum mitjà de 1 mW.
- Classe 4: Té un abast de fins a 50 cm, amb una potència de consum mitjà de 0,5 mW.

Cal destacar que en aquesta tecnologia el límit en cas de connexió entre dispositius de dues classes diferents el marca la classe del més potent.

3. Mòdul Bluetooth

A la hora d'escollir amb quin mòdul treballar farem tres consideracions:

Per evitar problemes de connectivitat amb models antics utilitzarem la versió 2.1 ja que hem vist que aquesta versió permet treballar amb una velocitat de 2.1 Mbps i aquesta és més que suficient pel tipus de dades que necessitem transmetre.

D'altra banda, ens cenyirem a models de la classe 1, d'aquesta forma arribarem a tenir un abast de 100 m, com que als objectius no s'especifica l'ús que es faria del supervisor, creiem que així crearem un dispositiu més versàtil.

La tercera i darrera consideració és que pensant en la comunicació amb el microcontrolador el mòdul sigui un OEM del mateix fabricant. Degut a la bona documentació del software associat ens decantem per utilitzar elements del fabricant Microchip.

Farem la cerca al distribuïdor Mouser Electronics, per la facilitat de cerca al seu portal web (<https://www.mouser.es/>) i l'ampli catàleg del que disposen.

Aplicant els criteris anteriors i fent una petita selecció obtenim la sèrie RN41, per tal de valorar la seva idoneïtat farem una breu comparativa amb altres models similars.

Model	Fabricant	Sèrie	Interfícies	Taxa de transmissió	Consum (transmetent /inactiu)	Temperatura mínima de treball (°C)	Temperatura màxima de treball (°C)	Preu unitari
RN41/I-RM	Microchip Technology	RN41	UART, USB	1.5 Mbps	30mA/<10mA	-40	+85	19,21 €
BT740-SC	Laird Connectivity	BT740	UART, GPIO, ADC	2,1 Mbps	35mA/1,5mA	-40	+85	22,56 €
ENW89823A4KF	Panasonic	PAN13X5B	UART, PCM, I2C	2,17 Mbps	35mA/1,5mA	-40	+85	9,81 €
WT11U-E-AI56	Silicon Laboratories	WT11U	UART, GPIO, PCM, SPI, USB	3 Mbps	36mA/1,7mA	-40	+85	22,58 €

Taula 5: comparativa mòduls Bluetooth

Podem veure que, si bé les característiques no són les millors, sí són suficients pel propòsit del treball i la seva alta compatibilitat amb el microprocessador supera clarament la millora que suposaria utilitzar un dels altres models.



Figura 6: detall RN41

Les característiques del model són:

- Model: RN41/I-RM
- Sèrie: RN41
- Datasheet: <https://www.mouser.es/datasheet/2/268/rn-41-ds-v3.42r-268807.pdf>
- Fabricant: Microchip Technologies
- Versió: Bluetooth 2.1 + EDR
- Classe: 1
- Antena: ceràmica
- Temperatura de treball: -40 °C a 85 °C
- Dimensions: 13.4 mm x 25.8 mm x 2 mm
- Alimentació: 3.3 V
- Potència de transmissió: 16 dBm
- Sensibilitat: -80 dBm
- Interfícies: UART, USB
- Preu unitari: 19.21€

El seu diagrama de blocs és:

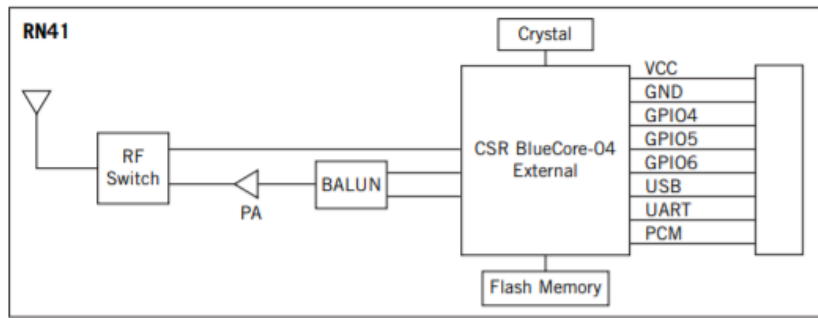


Figura 7: Diagrama de blocs RN41

I el seu mapa de PINS

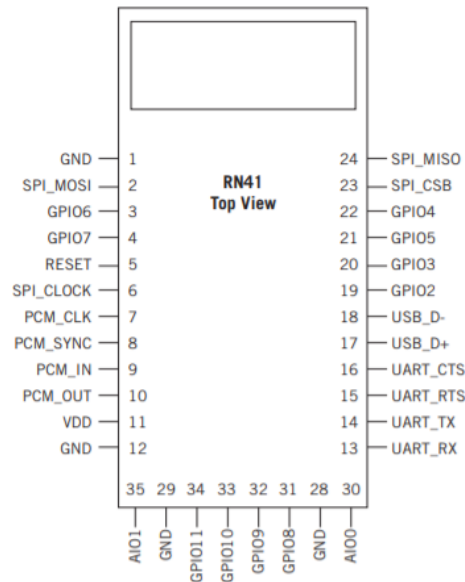


Figura 8: Esquema pins RN41

4. Sensor de temperatura

4.1. Elecció del sistema de mesura de temperatura

En la definició de l'abast del projecte es contempla la mesura de la temperatura de forma analògica i el disseny d'un circuit d'adaptació per tal que el microcontrolador pugui llegir el seu valor i treballar-hi. Hi ha diverses alternatives per utilitzar com a sonda segons com varien les seves característiques elèctriques amb la temperatura:

- Termistors: variació de resistència en un semiconductor
- RDT: variació de resistència d'un conductor
- Díodes: variació de caiguda de tensió en un díode
- Transistors: variació de caiguda de tensió base-emissor en una parella de transistors
- Termopar: Tensió entre dos metalls a diferent temperatura.

A més caldria afegir mesures mecàniques o de radiació, com el termòmetre de mercuri o el d'infrarojos.

En aquest treball estudiarem més a fons les tres primeres opcions, triant la que ens sembla més adient pels seus objectius.

4.1.1. Detecció de temperatura mitjançant un termistor

La primera opció per desenvolupar el sensor seria utilitzar un termistor, que no és més que un semiconductor que veu variar la seva resistència elèctrica en funció de la temperatura a la que es trobi, n'hi ha de dos tipus:

- Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient): En aquest tipus de termistor en incrementar-se la temperatura s'incrementa també la concentració de portadors de càrrega, disminuint-ne la resistència elèctrica. Es fan servir sovint com a sensors de temperatura.
- Termistor PTC (Positive Temperature Coefficient): En aquest tipus l'efecte és el contrari, un augment de la temperatura fa més gran la resistència, cosa que els fa especialment útils com a proteccions contra pujades de corrent o fusibles.

La resistència d'un termistor NTC varia segons la següent equació:

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

On:

- T_0 és la temperatura de referència expressada en Kelvin (indicada al datasheet, normalment 298 K).
- R_0 és la resistència de referència de la NTC (indicada al datasheet).
- β és el coeficient de la NTC expressat en Kelvin (indicat al datasheet).
- T és la temperatura, expressada en Kelvin.

Podem veure clarament que aquesta expressió dista molt de ser lineal, cosa que en dificulta l'ús pel nostre disseny.

S'ha de dir que en el tram central del seu rang de temperatures ($T_0 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$) el comportament és força lineal, amb un error inferior a $1 \text{ }^\circ\text{C}$, però no en tenim prou per cobrir tot el rang de temperatura que volem.

4.1.2. Detecció de temperatura mitjançant un díode

Sabem que per a un valor constant del corrent que travessa un díode, la caiguda de tensió que s'observa als seus borns disminueix a mesura que s'incrementa la temperatura:

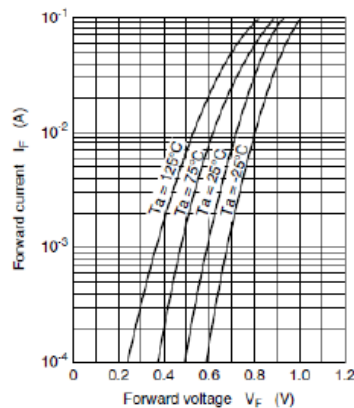


Figura 9: Relació I/V díode 1N4148

Aquesta variació de la tensió pot expressar-se en mV com:

$$V_D = V_0 - \frac{2mV}{K} (T - T_0)$$

On:

- V_D és la tensió entre els borns del díode
- V_0 és la tensió característica del díode (s'indica al seu datasheet, típicament 700 mV)
- T és la temperatura

- T_0 és la temperatura característica del díode (s'indica al seu datasheet, típicament 25 °C)

Troband la diferència entre la mínima tensió (quan T_0 val 120 °C) i la actual podríem trobar un senyal fàcilment digitalitzable que ens permetria calcular la temperatura. El problema, però, és que per generar aquesta tensió mínima a partir de la nostra font caldria un divisor de tensió molt precís.

4.1.3. Detecció de temperatura mitjançant una RTD

La tercera opció que estudiarem és la utilització d'una RTD o termoresistència com a sensor. Aquestes dispositius aprofiten que les resistències dels metalls varien el seu valor amb la temperatura, però ho fan de forma més lineal que en el cas dels termistors. La relació entre la resistència i la temperatura es pot aproximar com:

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

On:

- R és la resistència a una certa temperatura
- R_0 és la resistència característica a la seva temperatura característica, típicament 0°C
- α és el coeficient de temperatura, que depèn del material i s'expressa en K^{-1}
- T és la temperatura
- T_0 és la temperatura característica

En el cas d'un RTD PT100, que indica que el material és platí, que R_0 a 0 °C val 100 Ω , i el coeficient 0.00385 K^{-1} .

Així doncs, per construir la nostra utilitzarem aquesta opció, concretament farem servir el model 35110018 de Hareus Naxensos:

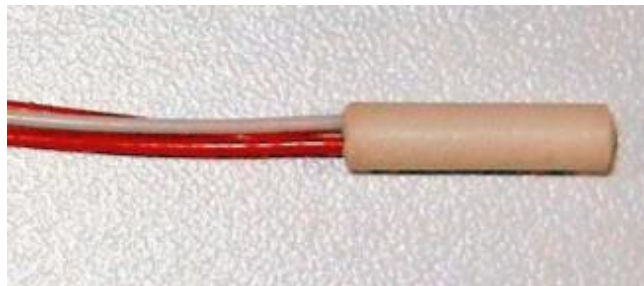


Figura 10: Detall RTD PT100 35110017

- Model: 35110017
- Fabricant: Hareus Naxensos
- Datasheet:
https://www.mouser.es/datasheet/2/619/Ceramic_Housing_RTDTemperature_Sensor.docx-1760931.pdf
- Tipus: RTD PT100
- Resistència a 0 °C: 100 Ω
- Temperatura de treball: -40 °C a 260 °C
- Coeficient de temperatura: 0.00385 K⁻¹
- Preu: 66.07€

És un model pensat per a ús domèstic que permet mesurar temperatures molt altes (calderes, forns...) i baixes (aires condicionats, neveres, congeladors...). Hi ha versió PT100 o PT1000, però a menor resistència més ràpid aconseguirà la temperatura exterior.

4.2. Circuit d'adaptació

Un cop decidit el tipus de sonda que utilitzarem construirem el circuit d'adaptació, per això generarem un senyal que pugui digitalitzar-se fàcilment de forma que:

$$T_{min} \rightarrow V_m = 0V$$

$$T_{max} \rightarrow V_m = V_{max}$$

On V_{max} serà el valor lògic màxim de l'entrada del convertidor analògic/digital. En el nostre cas, com que se'ns demana el rang 20°C a 120°C, ens facilitarà el disseny ampliar una mica aquest marge i establir-lo en 0°C - 140°C. Per generar aquest valor farem servir un pont de Wheatstone:

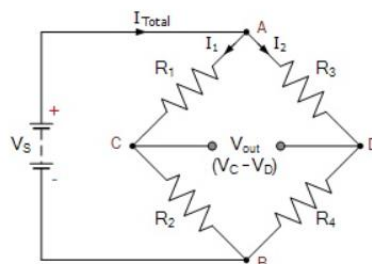


Figura 11: pont de Wheatstone

Aquest circuit és una combinació de quatre resistències connectades per donar un valor de corrent nul al seu centre. Observant el circuit podem veure que una forma de que es compleixi és que :

$$R_1 = R_3$$

$$R_2 = R_4$$

En el nostre cas, R_2 serà el RTD, i muntem el circuit de forma que s'anul·li la sortida per a la resistència associada a $0\text{ }^\circ\text{C}$:

$$R_1 = R_3 = 1k\Omega$$

$$R_2 = R_4 = 100(1 + 0.00385(0 - 0)) = 100\Omega$$

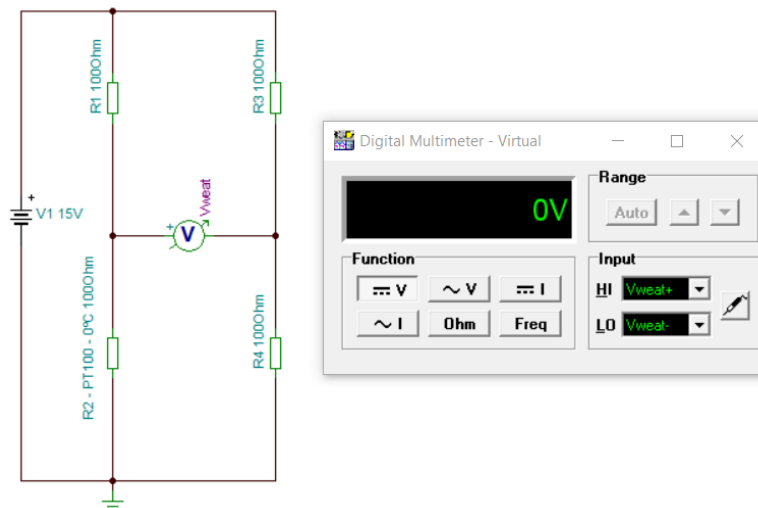


Figura 12: pont de Wheatstone per $0\text{ }^\circ\text{C}$

Podem comprovar com per a aquests valors la tensió V_{weat} val zero.

Calculem ara el valor màxim que prendrà, és a dir als $140\text{ }^\circ\text{C}$:

$$R_4 = 100(1 + 0.00385(140 - 0)) = 153.9\ \Omega$$

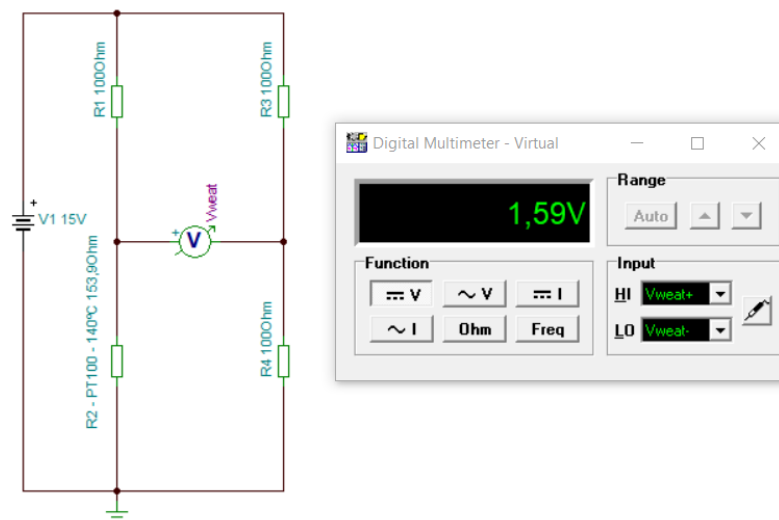


Figura 13: pont de Wheatstone per 140 °C

Ara la tensió de sortida prendrà un valor de 1.59 V, que és massa baix per poder entregar-lo a l'entrada del convertidor analògic-digital. La tensió de treball del microcontrolador encara no l'hem establert, ja que no en tenim el model, però atès que la alimentació del mòdul de Bluetooth és de 3.3 V, per minimitzar el nombre de tensions d'alimentació que necessitarem considerarem aquest valor com a 1 lògic.

Així doncs, caldrà amplificar aquest valor, això ho fem amb un amplificador diferencial:

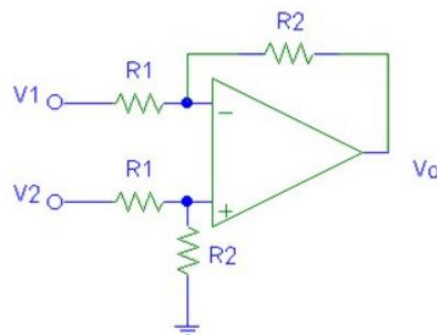


Figura 14: Amplificador diferencial

Aquest circuit proporciona a la seva sortida una tensió proporcional a la diferència entre les seves entrades, el guany d'aquesta operació ve donat per:

$$G = \frac{V_0}{V_2 - V_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

En el nostre cas volem convertir els 1.59 V en 3.3 V, així doncs les resistències hauran de complir:

$$R_2 = \frac{3.3}{1.59} R_1$$

Simularem el circuit amb aquests valors:

$$R_1 = 1000 \Omega$$

$$R_2 = 2075 \Omega$$

Com que no podem trobar una resistència de 2075 Ω , n'utilitzarem una de 2 k i una de 75 Ω en sèrie:

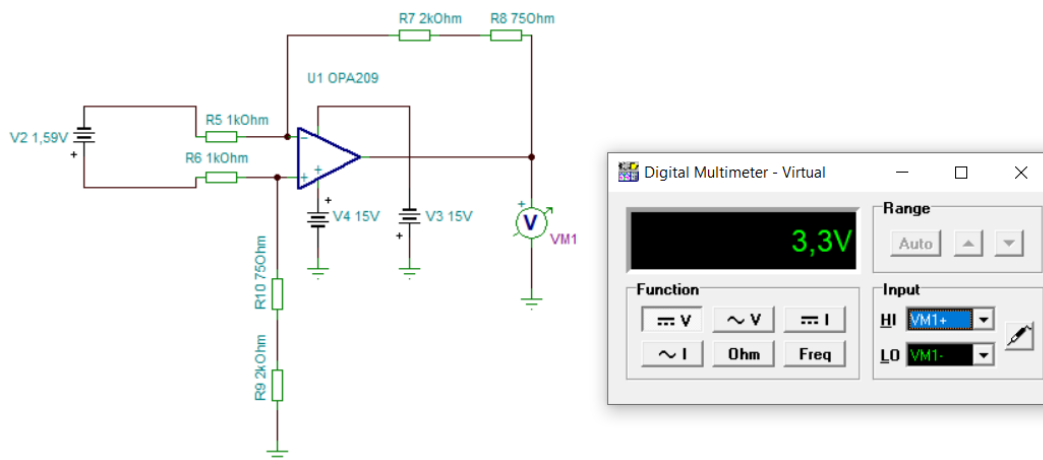


Figura 15: Circuit amplificador diferencial

Podem observar com l'amplificador funciona correctament, però si directament intentéssim canviar la font per la sortida del pont de Wheatstone les impedàncies creuades provocarien errors, és per això que haurem de passar el senyal per un sedàs, una parella de seguidors de tensió que aïllin bé les dues parts del circuit.

Unirem totes les parts del circuit i en comprovarem el funcionament, per a 0 $^{\circ}\text{C}$ i 140 $^{\circ}\text{C}$:

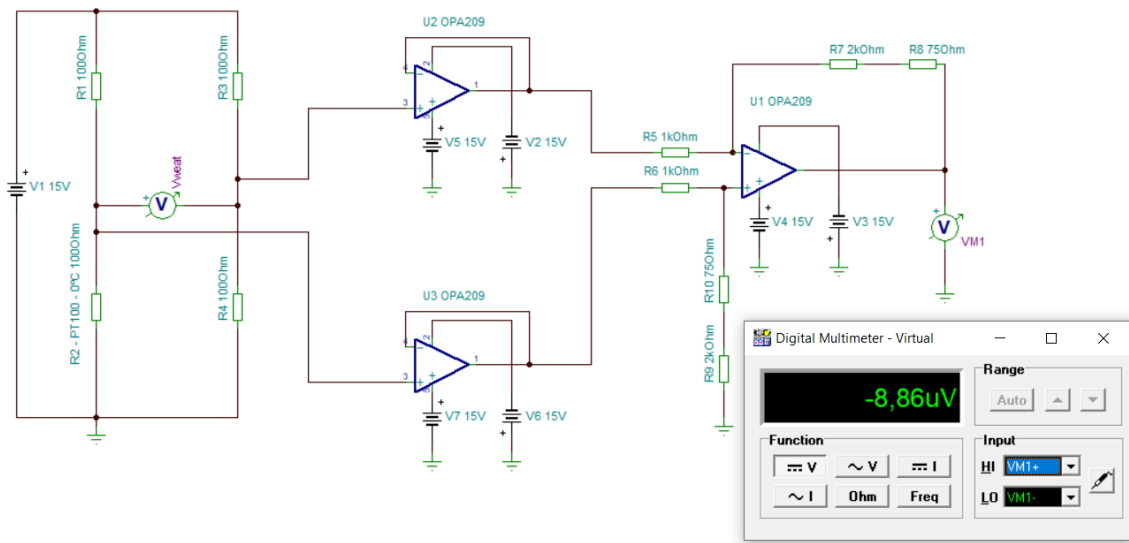


Figura 16: Circuit adaptació – 0 °C

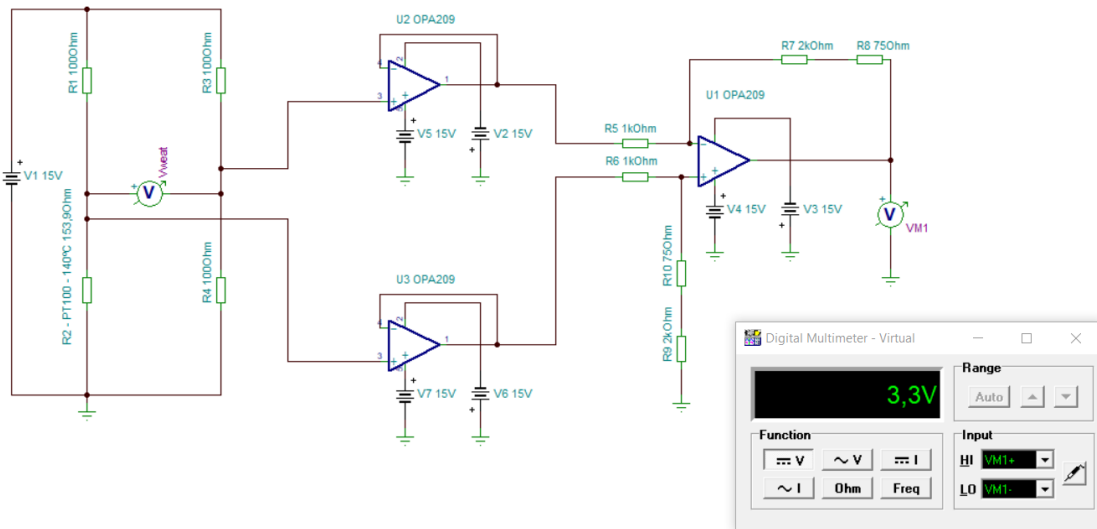


Figura 17: Circuit adaptació – 140 °C

Observem que l'amplificació ha quedat ben feta, s'observa una petita desviació per la tensió a 0 °C, però és un valor molt petit i es pot negligir.

Ara ja podem entregar V_{M1} a l'entrada del convertidor, el següent pas és determinar la temperatura a partir d'aquest valor, això ho farem en la programació del microcontrolador.

5. Microcontrolador

Aquesta part del projecte es centra en el que serà el cervell del nostre supervisor de temperatura, el microcontrolador. Un microcontrolador és una computadora a petita escala, que conté al seu interior els següents elements principals:

- Unitat central de processament (CPU): és el nucli del microcontrolador, la seva funció és interpretar les instruccions del codi de la seva programació mitjançant operacions aritmètiques, lògiques i externes (provinents de les seves unitats d'entrada i sortida).
- Memòria: emmagatzema i posa a disposició de la CPU les dades i instruccions dels processos. Segons la funció pot ser memòria de dades (típicament SRAM) o memòria de codi (que pot ser de tipus ROM, PROM, EPROM, EEPROM o flash en els models més moderns).
- Ports d'entrada i sortida: permeten la comunicació amb altres elements del sistema, com poden ser convertidors (analògic-digital o digital-analògic) o busos de comunicacions compatibles amb diferents protocols (UART, USB o d'altres).
- Relotge: estableix la freqüència del sistema i en permet la sincronització.

Pel que fa a la seva arquitectura, podem classificar-los en:

- Arquitectura Von Newman: utilitza el mateix dispositiu d'emmagatzematge tant per les instruccions com per les dades, connectant-hi a través dels mateixos busos, d'aquesta forma s'aconsegueix l'estalvi de bastantes línies d'entrada i sortida. S'utilitza principalment en sistemes on el processador va muntat en socket a una placa mare on les línies d'E/S són costoses.

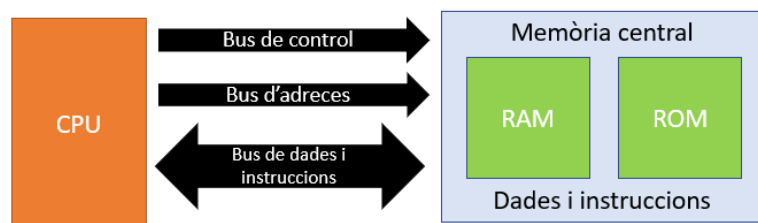


Figura 18: Arquitectura Von Newman

- Arquitectura Harvard: cada tipus de memòria té el seu propi joc de busos, d'aquesta forma la mida d'aquests pot adaptar-se a les característiques de la memòria i s'ofereix la possibilitat d'accedir de forma simultània a més d'un bloc, incrementant la velocitat. És el tipus més utilitzat en supercomputadors, en microcontroladors i en sistemes integrats en general. També és el que utilitzarem en aquest projecte.

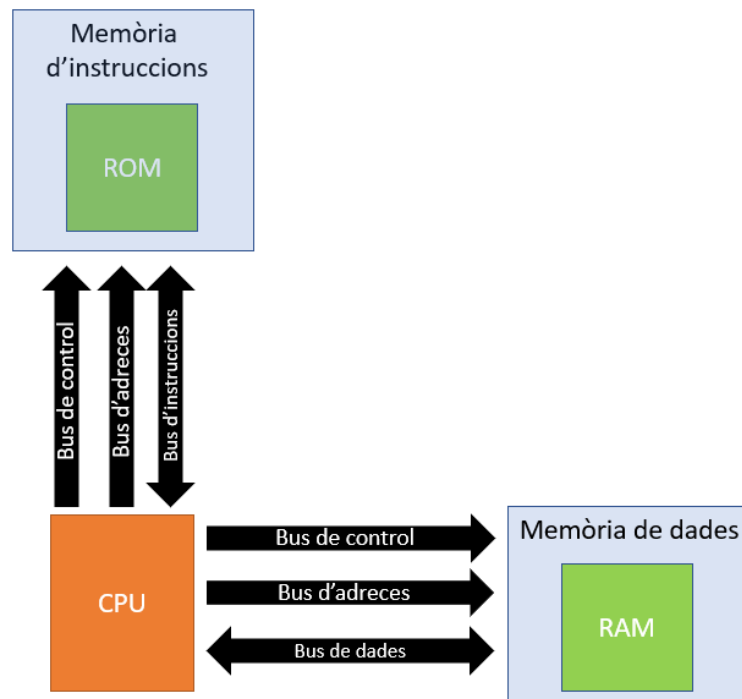


Figura 19: Arquitectura Harvard

5.1. Elecció del microcontrolador

Ha arribat el moment de fer la tria del microcontrolador que utilitzarem per dissenyar el nostre supervisor de temperatura, per escollir el model tindrem en compte diversos factors.

Atès que el programa de control s'ha de realitzar amb MPLAB de Microchip, creiem que el més convenient serà utilitzar un microcontrolador d'aquest fabricant, cosa que a més facilitarà la comunicació amb el mòdul de Bluetooth escollit.

Ha de disposar d'un convertidor analògic-digital (ADC) per poder treballar amb la temperatura del nostre circuit d'adaptació, a més com que mesurarem el rang de temperatures de 0 a 140°C amb precisió d'un grau necessitarem com a mínim 141 nivells, així que treballarem amb un mínim de 8 bits (256 nivells).

La nostra elecció del mòdul Bluetooth també ens condicionarà, ja que necessitarem un mòdul UART per poder comunicar-nos entre ambdós dispositius, a més, per facilitar el disseny de la font d'alimentació seria convenient que acceptés una tensió de referència de 3.3V, ja que és l'alimentació del mòdul de Bluetooth, per tant la tensió d'alimentació hauria de ser lleugerament superior.

Amb aquests condicionants i fent la cerca un cop més al portal web del distribuïdor ens hem decidit per un model de la família PIC16F873, concretament el PIC16F873A.



Figura 20: Microcontrolador PIC16F873A

Les característiques del model són:

- Model: PIC16F873A
- Sèrie: PIC16(L)F87xA
- Datasheet: <https://www.mouser.es/datasheet/2/268/39582C-278080.pdf>
- Fabricant: Microchip Technologies
- Màxima velocitat de CPU: 20 MHz
- Resolució ADC: 10 bits (5 canals)
- Amplada bus de dades: 8 bits
- Temperatura de treball: -40 °C a 85 °C
- Dimensions: 7.24 mm x 34.67 mm x 3.3 mm
- Alimentació: 2 a 5.5 V
- Memòria RAM: 192 Bytes
- Memòria del programa: 7 kbytes (tipus flash)
- Interfícies: I2C, SPI, USART
- Preu unitari: 4,12 €

El seu mapa de pins és:

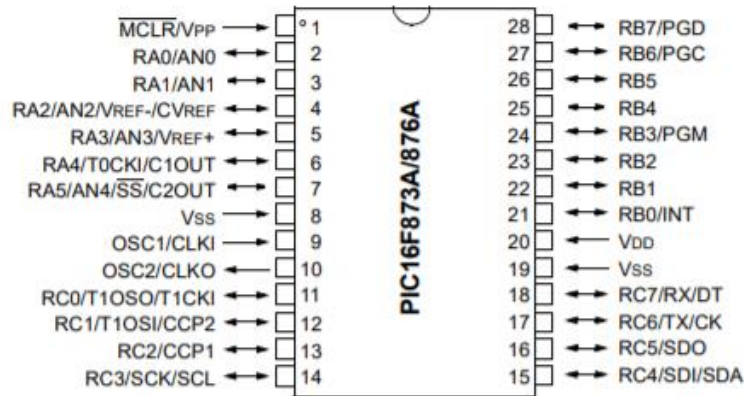


Figura 21: Pins PIC16F873A

5.2. Programa de control

En aquest apartat farem el disseny i la implementació del programa que controlarà el funcionament de tot el nostre sistema.

5.2.1. Diagrama de funcionament

Per ajudar-nos amb el disseny començarem amb un diagrama del funcionament que volem que tingui el nostre programa de control.

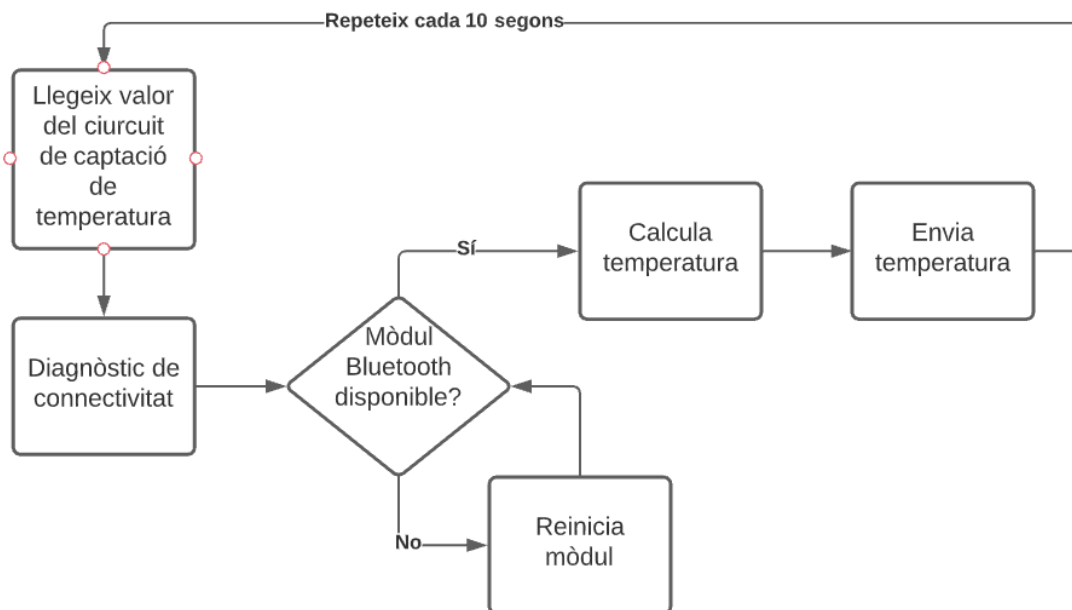


Figura 22: Diagrama de funcionament del programa de control

5.2.2. Estructura del programa

Per tal de fer una programació el més versàtil possible s'ha dividit el codi en un programa principal i diverses capçaleres:

La primera capçalera que hem implementat és `ports_UART.h`, és la responsable de la configuració dels dos ports UART que utilitzarem per comunicar-nos amb el mòdul de Bluetooth i defineix les operacions (lectura i escriptura) que hi realitzarem.

```

/* Inicialització, configuració, lectura i escriptura dels ports UART*/
#ifndef PORTS_UART_H
#define PORTS_UART_H

#include <xc.h>

void conf_UART (void){
    TRISCbits.TRISC7=1; //Definim RC7 com a entrada RX
    TRISCbits.TRISC6=0; //Definim RC6 com a sortida TX
    TXSTAbits.SYNC=0; //Mode Asíncron UART
    TXSTAbits.BRGH=1; //Alta velocitat de transmissió
    SPBRG= 129; //Per tal d'obtenir 9600 Bauds
    RCSTAbits.SPEN=1; //Aixeca UART
    TXSTAbits.TXEN=1; //Aixeca TX
    RCSTAbits.CREN=1; //Aixeca RX
    return;
}

void w_UART (char car_tx){ //Funció per escriure un caràcter a TX
    while (!TXSTAbits.TRMT); // Espera a tenir el caràcter
    TXREG = car_tx; //Carrrega el caràcter a TXREG
    return;
}

void w_str_UART (const unsigned char* text_tx){ //Funció per passar string a TX
    while (text_tx != 0x00){
        w_UART(*text_tx);
        text_tx++;
    }
    return;
}

char r_UART (void) { //Funció per llegir un caràcter a RX
    if (PIR1bits.RCIF){
        if (RCSTAbits.OERR){ //Si hi ha error reiniciarem RX
            RCSTAbits.CREN = 0; //Deshabilita RX
            NOP();
            RCSTAbits.CREN=1; //Espera un cicle i habilita RX de nou
        }
        else{
            return RCREG;
        }
    }
    return 0;
}
#endif

```

Figura 23: Contingut del fitxer `ports_UART.h`

Hi trobem quatre funcions:

- `conf_UART`: configura els paràmetres dels ports d'entrada i sortida.
- `w_UART`: Escriu un caràcter a TX.
- `w_str_UART`: Passa els caràcters d'una cadena un a un a la funció anterior.
- `r_UART`: Llegeix un caràcter de RX.

En segon lloc trobem la capçalera que s'encarrega de la configuració i les operacions del convertidor analògic – digital.

```

/* Inicialització, configuració, lectura i escriptura del port ADC*/
#ifdef PORT_ADC_H
#define PORT_ADC_H

#include <xc.h>

void conf_ADC(void) {

    ADCON1bits.ADFM = 1; //Justificació a la dreta
    ADCON1bits.PCFG = 0b0101; //AN3=Vref, AN0 i AN1 entrades analògiques

    /* Per tal de superar el TAD mínim (1.6 us) amb un cristall de 20 MHz,
    * caldrà mutiplicar per un factor 32, segons datasheet correspon a 010 */
    ADCON1bits.ADCS2 = 0;
    ADCON0bits.ADCS1 = 1;
    ADCON0bits.ADCS0 = 0;

    ADCON0bits.ADON = 1; //Activem convertidor ADC
    return;
}

int r_ADC(void) { //Funció per la lectura d'un canal ADC

    ADCON0bits.CHS2 = 0;
    ADCON0bits.CHS1 = 0;
    ADCON0bits.CHS0 = 0; //Canal AN0

    __delay_us(50); //Temps d'adquisició de la tensió

    ADCON0bits.GO =1; //Iniciem la conversió
    while (ADCON0bits.GO); //Aquest bit es manté a 1 mentre converteix

    /*Per tornar el resultat, desplacem el registre ADRESH 8 posicions i hi
    sumem ADRESL*/
    return ((ADRESH<<8)+ADRESL);
}

#endif

```

Figura 24: Contingut del fitxer `port_ADC.h`

En aquest cas només tenim dues funcions:

- `conf_ADC`: configura els paràmetres de l'ADC.
- `r_ADC`: recull el valor del port AN0 i en fa la conversió.

La darrera capçalera és l'encarregada de la configuració del mòdul Bluetooth, posar-la separada de la capçalera dels ports UART és una decisió de disseny, ja que les instruccions són específiques per aquest mòdul i en cas de voler-lo canviar només s'hauria de modificar aquest arxiu, sense provocar cap canvi en la configuració dels ports.

```

/*Inicialització i diagnòstic del mòdul RN41*/

#ifdef BLUETOOTH_H
#define BLUETOOTH_H

#include <xc.h>
#include "ports_UART.h"

void ini_bluetooth(void){ //Funció per inicialitzar RN41
    __delay_ms(1000); //Espera un segon per entrar en mode command
    /*Fins que no ens retorni 'CMD'segueix reenviant '$$$' cada segon per entrar
    * en mode command*/
    while(r_UART()!='C'){
        w_str_UART("$$$");
        __delay_ms(500);
    }
    /*Va entrant els diferents paràmetres de configuració, repetint fins a
    * rebre en cada cas 'AOK' per confirmar */
    while(r_UART()!='A'){
        w_str_UART("\nSF,1\n"); //Restaura valors de fàbrica
        __delay_ms(500);
    }
    while(r_UART()!='A'){
        w_str_UART("SA,0\n"); //Autentificació oberta
        __delay_ms(500);
    }
    while(r_UART()!='A'){
        w_str_UART("SM,0\n"); //Mode esclau
        __delay_ms(500);
    }
    while(r_UART()!='A'){
        w_str_UART("SN, Sonda\n"); //Nom del dispositiu
        __delay_ms(500);
    }
    while(r_UART()!='A'){
        w_str_UART("SQ,16\n"); //Mode optimitzat per transferència de dades
        __delay_ms(500);
    }
    /*Per finalitzar el mode command envia '---' fins a rebre 'END' */
    while(r_UART()!='E'){
        w_str_UART("---\n");
        __delay_ms(500);
    }
    return;
}
    
```

Figura 25: Contingut del fitxer `bluetooth.h` (1/2)

```

void check_bluetooth(void) { //Funció que comprova l'estat del mòdul
    __delay_ms(1000);
    while(r_UART() != 'C') {
        w_str_UART("$$$");
        __delay_ms(1000);
    }
    /*Pregunta l'estat al mòdul, si contesta 000 (desconnectat) el reinicia,
    si contesta 100 està connectat i no cal fer res*/
    while(r_UART() != '0' && r_UART() != '1') {
        w_str_UART("\n\rGK\n");
        __delay_ms(1000);
        if (r_UART() == '0') {
            w_str_UART("R,1\n");
            __delay_ms(1000);
            ini_bluetooth();
        }
    }
    while(r_UART() != 'E') {
        w_str_UART("---\n");
        __delay_ms(100);
    }
    return;
}

#endif
    
```

Figura 26: Contingut del fitxer bluetooth.h (2/2)

Només està compost per dues funcions:

- ini_bluetooth: inicialitza el mòdul Bluetooth, configurant els paràmetres segons els valors especificats en el datasheet del mòdul RN41.
- check_bluetooth: comprova si el mòdul està connectat i, en cas de no ser així, fa una crida a la inicialització.

En darrer lloc trobem el programa principal, que només conté una única funció que fa les crides pertinents per configurar els ports amb les capçaleres creades, així com el càlcul de la temperatura amb els valor obtingut de l'ADC.


```

/* Programa principal */

/* Ajustem el funcionament del microcontrolador utilitzant els bits de
 * configuració*/
#pragma config FOSC = HS           // Oscilador d'alta freqüència
#pragma config WDTE = OFF          // Watchdog Timer deshabilitat
#pragma config PWRTE = OFF        // Power-up Timer Timer deshabilitat
#pragma config BOREN = ON         // Brown-out Reset Enable bit habilitat
#pragma config LVP = OFF          // Programació en Low-Voltage deshabilitada
#pragma config CPD = OFF          // Data EEPROM Memory Code Prot. deshabilitat
#pragma config WRT = OFF          // Flash Program Memory Write deshabilitat
#pragma config CP = OFF           // Flash Program Memory Code Prot. deshabilitat

#define _XTAL_FREQ 20000000       //Cristall de 20 Mhz

//Llibreries bàsiques
#include <xc.h>
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>

//Capçaleres creades
#include "ports_UART.h"
#include "port_ADC.h"
#include "bluetooth.h"

void main(void) {

    double temp;
    unsigned int data, temp_int;
    char text[15];

    conf_UART(); //Crida a la configuració de ports UART
    conf_ADC(); //Crida a la configuració de l'ADC
    //ini_bluetooth(); //Configura el mòdul de bluetooth per primer cop

    while(1){
        //check_bluetooth(); //Comprovació del mòdul bluetooth
        data = r_ADC(); //Porta la dada de l'ADC
        temp = 140.0*data/1023.0;
        temp_int = (unsigned int)temp; //la temperatura
        sprintf(text,"Temperatura %i °C", temp_int);
        w_str_UART(text); //Crea la cadena i l'envia a UART
        __delay_ms(10000); //Repeteix el procés cada deu segons
    }
    return;
}

```

Figura 27: Contingut del fitxer supervisor.c

Per tal de comprovar el funcionament s'ha implementat un petit circuit a Proteus on simplement hem donat valors de tensió a l'entrada de l'ADC i hem comprovat el càlcul de la temperatura.

Com que la versió de Proteus no disposa del mòdul Bluetooth, utilitzarem una consola per veure els resultats i s'han eliminat de la prova (posant com a comentari) les crides a les funcions ini_bluetooth i check_bluetooth, ja que en no rebre les confirmacions per part del mòdul el nostre programa quedaria esperant i no progressaria.

Hem fet la prova per una tensió d'entrada de 3.3 V, corresponent a la temperatura màxima de 140°C.

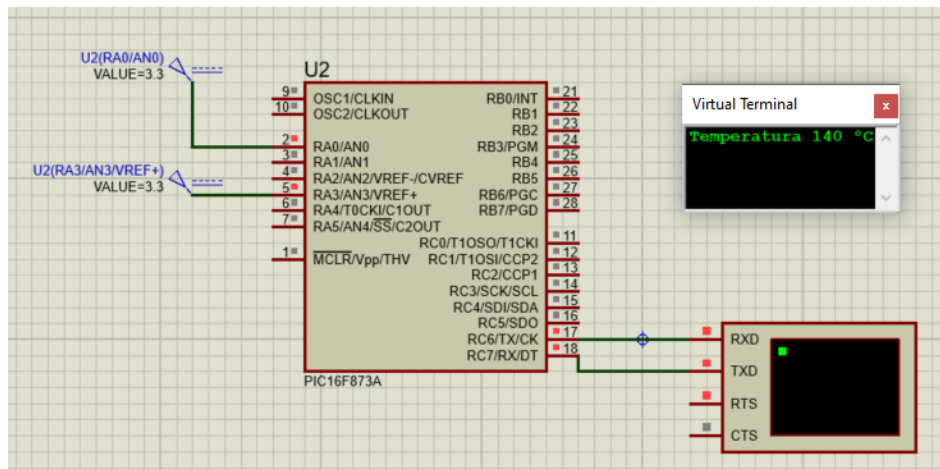


Figura 28: Simulació a 3.3 V

Per un valor de 1.65 V, corresponent a 70 °C.

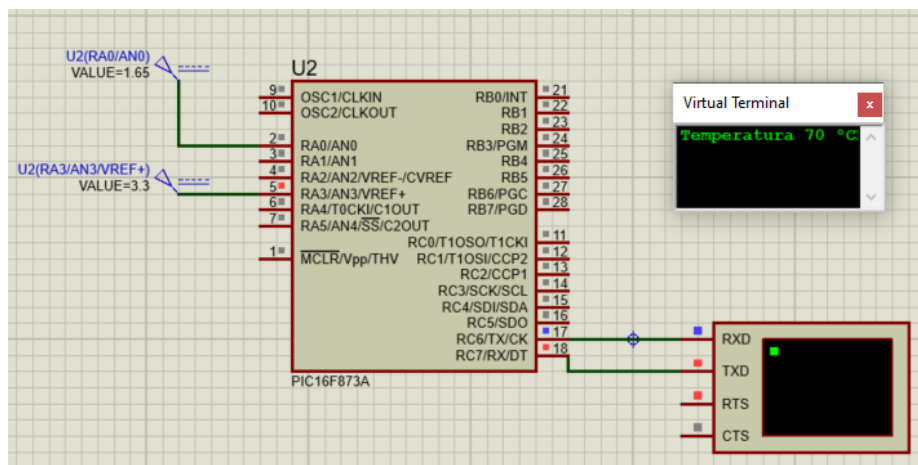


Figura 29: Simulació a 1.65 V

I per últim a 0 V, és a dir a la temperatura mínima de 0 °C.

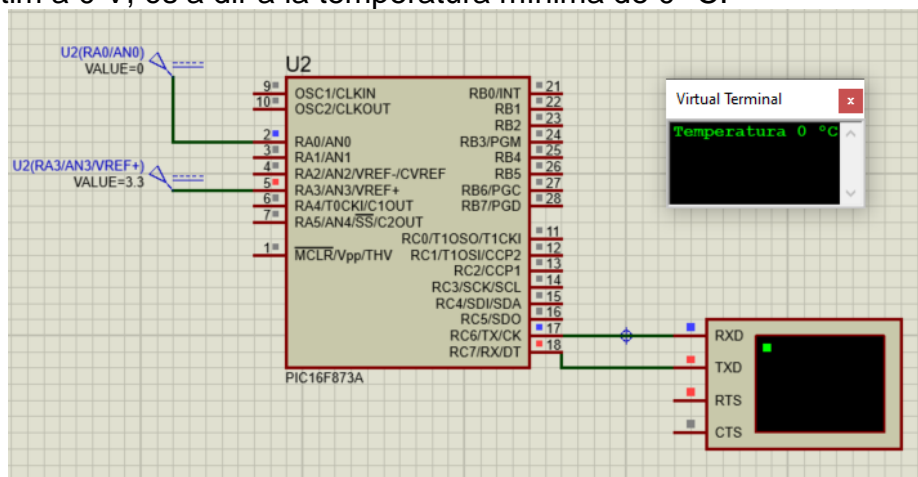


Figura 30: Simulació a 0 V

6. Font d'alimentació

En aquest apartat del treball ens centrarem en el disseny de la font d'alimentació pel nostre dispositiu, segons es detalla a l'enunciat disposarem d'una tensió constant de 24 V, que nosaltres he de convertir en les diferents tensions que necessitem per cada component.

6.1. Introducció a les fonts d'alimentació

Tot i no ser l'objectiu del treball sí que ens convé saber que existeixen dos tipus bàsics de fonts d'alimentació, lineals i commutades.

Les fonts lineals regulen la tensió dissipant-ne l'excés en forma de calor, això fa que l'eficiència màxima que es pot aconseguir amb aquest tipus de font sigui força baixa, en general per sota del 60%. Per contra, aquestes fonts són més simples i econòmiques i no presenten interferències de RF (tot i que si poden presentar petites ondulacions de l'ordre dels mV anomenades *ripple*).

D'altra banda les fonts commutades utilitzen un senyal de control per variar l'amplada del pols, d'aquesta forma prenen de l'alimentació només l'energia que requereix la càrrega, això lògicament fa que puguin obtenir una millor eficiència, que habitualment se situa entorn del 80% i fins i tot arribar a valors superiors al 90%. S'ha de tenir en compte, però, que els canvis de corrent abruptes que duen a terme aquest tipus de fonts poden crear interferències RF i requereixen un disseny més complex i costós.

6.2. Anàlisi de consum del dispositiu

El pas previ al disseny de la font d'alimentació no pot ser un altre que el càlcul dels consums del nostre equip per assegurar que la font proporciona els corrents necessaris pel seu correcte funcionament.

El nostre dispositiu està compost per components actius que requereixen tensions de 3.3, 5 i ± 15 V, a través dels seus fulls d'especificacions obtindrem informació dels seus consums.

Per tal d'obtenir una font més fiable, treballarem amb els consums màxims de cada element en comptes dels típics. Per al mòdul Bluetooth això vol dir considerar el valor màxim en transmissió, pel microcontrolador implicarà tenir corrent en tots els seus pins.

Aquest és el quadre – resum dels consums i alimentacions:

Component	Tensió necessària	Consum màxim
Mòdul Bluetooth RN41/I-RM	3.3 V	100 mA
Amplificadors operacionals opa209	± 15 V	(3x) 10 mA
Circuit captació temperatura	15 V	150 mA
Microcontrolador PIC16F873A (Alimentació)	2 a 5.5 V	250 mA
Microcontrolador PIC16F873A (Referència)	3.3 V	25 mA

Taula 6: Consums màxims

6.3. Disseny de la font d'alimentació

Amb les dades obtingudes als datasheet dels components fem el disseny de la font. La primera opció seria fer una sola font amb diverses etapes a les diferents tensions que requereix el circuit, però això, a més de complicar el disseny, faria que la fallada d'algun dels components provoqués una fallada en totes les etapes següents. Així doncs, ens inclinarem per fer quatre fonts, cadascuna partint dels 24 V que tenim a la entrada i entregant els voltatges desitjats, assegurant també que proporciona el suficient corrent per tots els elements que ha d'alimentar.

Per dur a terme els dissenys utilitzarem l'aplicació de Texas Instruments Webench Design Center, que amb uns paràmetres d'entrada i sortida proporciona diferents possibilitats de circuit segons eficiència, cost i mida (footprint).

6.3.1. Disseny de la font de 3.3 V

La font de 3.3 V serà l'encarregada de l'alimentació del mòdul de Bluetooth, així com de subministrar la tensió de referència al microcontrolador. Podríem alimentar també el microcontrolador amb aquesta tensió, ja que és dins del rang que ens indica el seu full de característiques (2 – 5.5 V), però per tal de tenir marge per sobre la tensió de referència, l'alimentarem amb 5 V.

Pel que fa al corrent, veiem que el consum total és de 125 mA, per assegurar tenir sempre prou marge, duplicarem aquest valor i proporcionarem les dades a l'aplicació:

- Tensió entrada: 24 V
- Tensió sortida: 3.3 V
- Corrent sortida: 250 mA

Si fem la cerca utilitzant el criteri de màxim equilibri, un dels dissenys que ens proposa l'aplicació utilitza el mòdul step-down LMZM23601 en la versió 3.3 V.

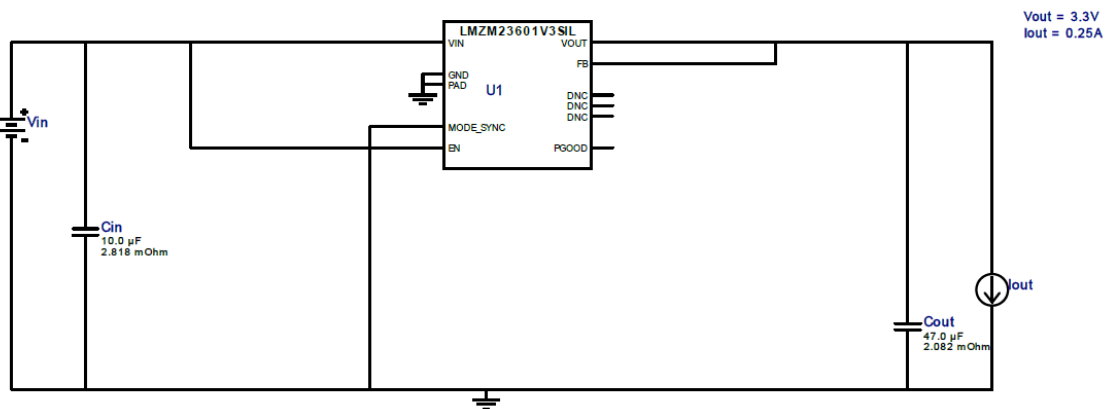


Figura 31: Esquema de la font d'alimentació de 3.3 V

Aquest mòdul permet passar una tensió contínua (entre 4 i 36 V) a 3.3 V només utilitzant dos condensadors a l'entrada i la sortida per tal d'aplanar els senyals, això simplifica enormement el disseny i alhora fa que la mida sigui força petita tot i donar-nos unes característiques més que acceptables:

- Mòdul: LMZM23601V3SIL
- Datasheet: <https://www.ti.com/product/LMZM23601>
- Eficiència declarada: 84.1%
- Eficiència amb corrent de treball (125 mA): 82.5%
- Transitori: 4.12 ms
- Mida: 37 mm²
- Cost total: 2.12 €

Veiem les gràfiques més representatives del seu funcionament:

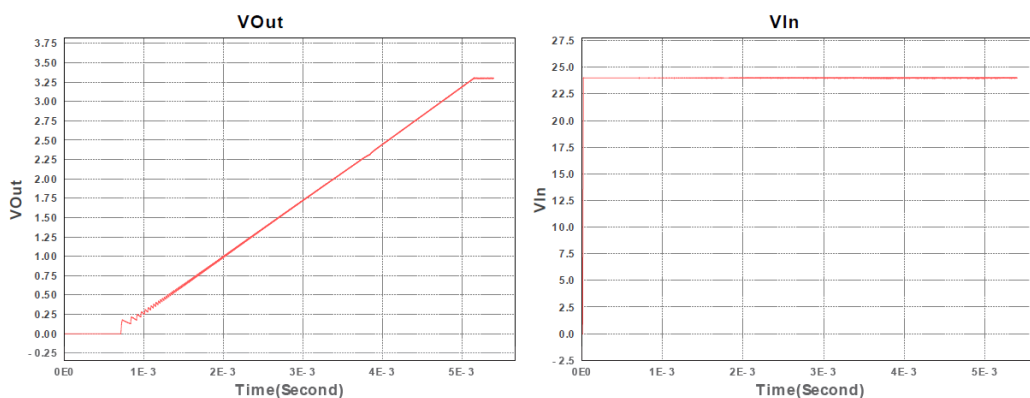


Figura 32: Evolució de la tensió - font d'alimentació de 3.3 V

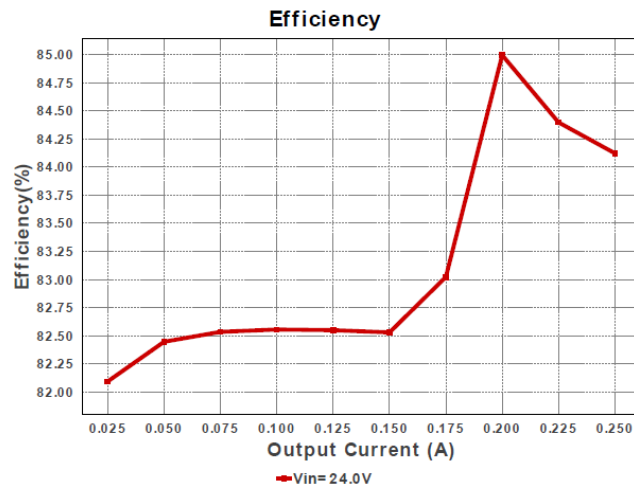


Figura 33: Eficiència - font d'alimentació de 3.3 V

6.3.2. Disseny de la font de 5 V

Estudiem ara la font d'alimentació de 5 V, aquesta font només haurà de subministrar l'alimentació del microcontrolador, com en el cas anterior duplicarem els 250 mA que consumeix per tenir marge:

- Tensió entrada: 24 V
- Tensió sortida: 5 V
- Corrent sortida: 500 mA

Un cop més, trobem que un dels dissenys que ens proposa l'aplicació és el basat en el mòdul anterior, LMZM23601, però ara en la versió de 5 V.

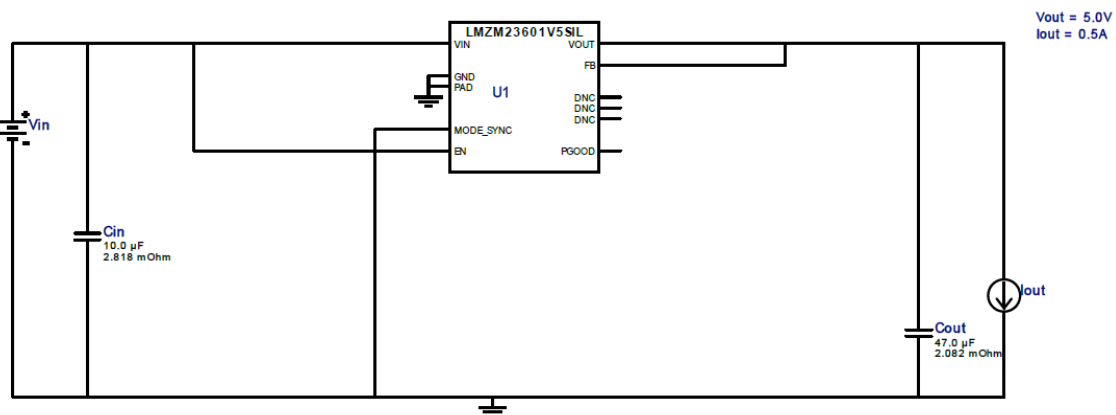


Figura 34: Esquema de la font d'alimentació de 5 V

Com hem vist a la primera font, aquest mòdul permet passar dels 24 als 5 V només amb un parell de condensadors mantenint unes bones característiques:

- Mòdul: LMZM23601V5SIL
- Datasheet: <https://www.ti.com/product/LMZM23601>
- Eficiència declarada: 87.33%
- Eficiència amb corrent de treball (250 mA): 88%
- Transitori: 4.11 ms
- Mida: 37 mm²
- Cost total: 2.12 €

Veiem les gràfiques més representatives del seu funcionament:

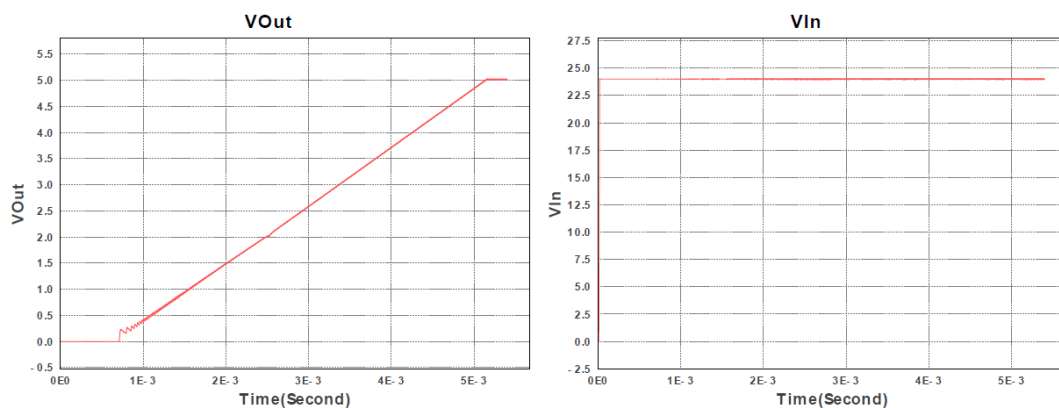


Figura 35: Evolució de la tensió - font d'alimentació de 5 V

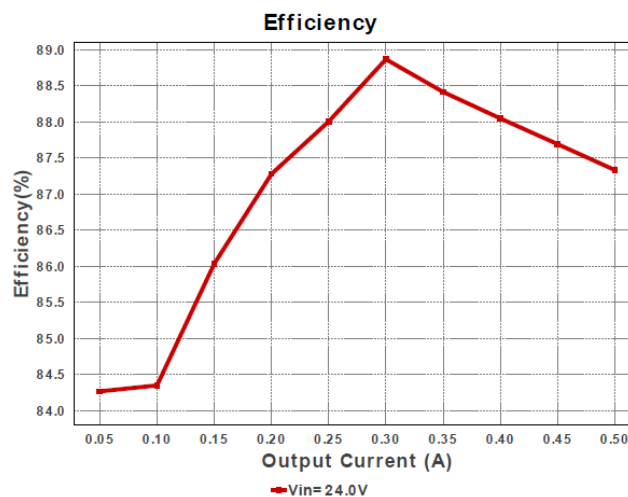


Figura 36: Eficiència - font d'alimentació de 5 V

6.3.3. Disseny de la font de 15 V

Arriba ara el torn de font d'alimentació de 15 V, aquesta font s'encarregarà de subministrar la tensió d'entrada al pont de Wheatstone del circuit de captació de temperatura, així com de l'alimentació positiva dels tres amplificadors, això es tradueix en les següents necessitats:

- Tensió entrada: 24 V
- Tensió sortida: 15 V
- Corrent sortida: 360 mA

Un dels dissenys proposats utilitza el mòdul LMR16006YDDC.

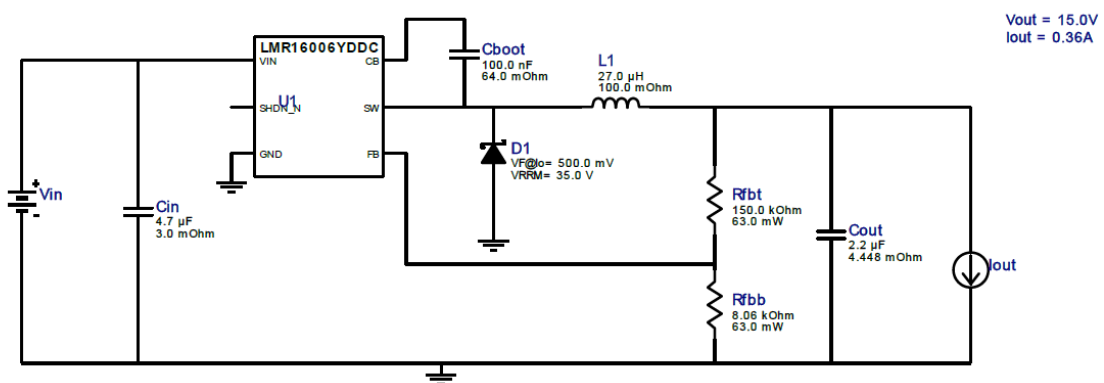


Figura 37: Esquema de la font d'alimentació de 15 V

Veiem que aquest circuit ja no és tant simple com els anteriors, això és degut a que aquest mòdul no té la reducció directa a la tensió de sortida desitjada, sinó que a partir d'una tensió d'entrada d'entre 4 i 60 V en corrent contínuu, ofereix a la sortida una tensió controlada pel divisor de tensió entre les resistències R_{fbt} i R_{fbb} .

Pel que fa a la resta de components, el condensador C_{in} redueix l'arissament a l'entrada, C_{out} i $L1$ mantenen constant la tensió de sortida i C_{boost} subministra el corrent necessari al transistor intern per passar de tall a connexió, ja que s'haurà carregat prèviament per la recirculació provocada per la bobina.

Les característiques del disseny són excel·lents pel que fa a l'eficiència, mantenint a més una mida prou reduïda per la complexitat del circuit.

- Mòdul: LMR16006YDDC
- Datasheet: <https://www.ti.com/product/LMR16006>
- Eficiència declarada: 95.72%

- Eficiència amb corrent de treball (180 mA): 95.6%
- Transitori: 3.31 ms
- Mida: 189 mm²
- Cost total: 1.46 €

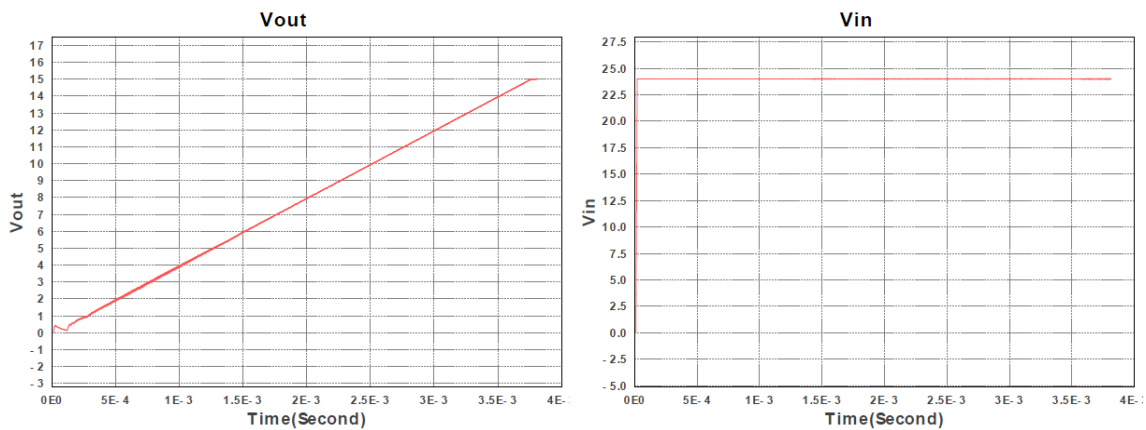


Figura 38: Evolució de la tensió - font d'alimentació de 15 V

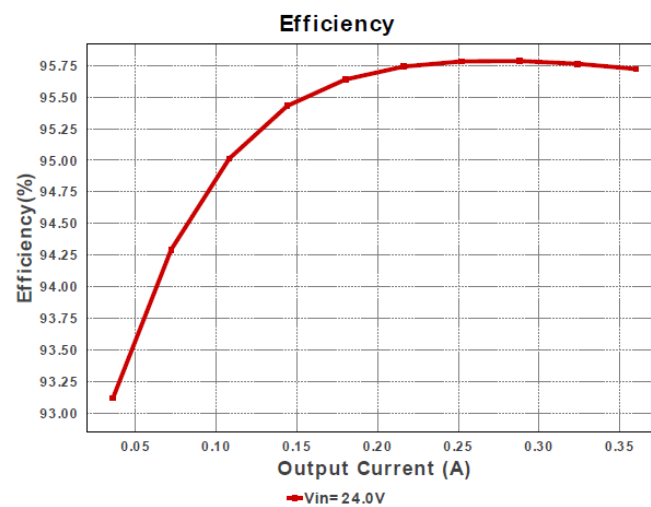


Figura 39: Eficiència - font d'alimentació de 15 V

6.3.4. Disseny de la font de -15 V

La darrera font que ens queda per dissenyar és la de -15 V, que haurà d'alimentar els tres amplificadors i per tant les seves característiques seran:

- Tensió entrada: 24 V
- Tensió sortida: -15 V
- Corrent sortida: 60 mA

Un dels dissenys proposats utilitza el mòdul LMZ34002:

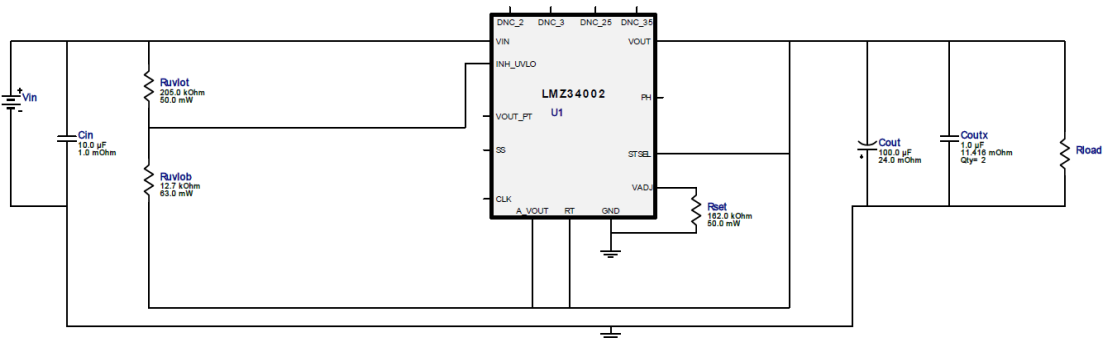


Figura 40: Esquema de la font d'alimentació de 15 V

En aquest cas la tensió de sortida es controla mitjançant la resistència R_{set} , segons el valor que prengui ens donarà una o altra tensió dins del rang -3 a -17 V, com podem veure al seu full de característiques:

V_{OUT} (V)	R_{SET} (kΩ)	V_{OUT} (V)	R_{SET} (kΩ)	V_{OUT} (V)	R_{SET} (kΩ)
-3.0	27.4	-7.5	84.5	-12.5	147
-3.3	31.6	-8.0	90.9	-13.0	154
-3.5	34.0	-8.5	97.6	-13.5	158
-4.0	40.2	-9.0	102	-14.0	165
-4.5	46.4	-9.5	110	-14.5	174
-5.0	52.3	-10.0	115	-15.0	178
-5.5	59.0	-10.5	121	-15.5	187
-6.0	64.9	-11.0	127	-16.0	191
-6.5	71.5	-11.5	133	-16.5	196
-7.0	78.7	-12.0	140	-17.0	205

Taula 7: Valors de R_{set} en funció de V_{out}

A més, trobem els condensadors d'entrada i sortida per aplanar les tensions i un parell de resistències que controlen el tall en cas d'una tensió d'entrada massa baixa, el que es coneix com a undervoltage lockout (UVLO).

Les seves característiques són:

- Mòdul: LMZ34002
- Datasheet: <https://www.ti.com/product/LMZ34002>
- Eficiència declarada: 84.88%
- Eficiència amb corrent de treball (180 mA): 78%
- Mida: 251 mm²
- Cost total: 5.41 €

Pel que fa a les seves gràfiques, l'aplicació no permet fer la simulació d'aquest tipus de fonts, per tant no tindrem l'evolució temporal de la tensió ni la durada del transitori, mostrem a continuació el comportament de l'eficiència:

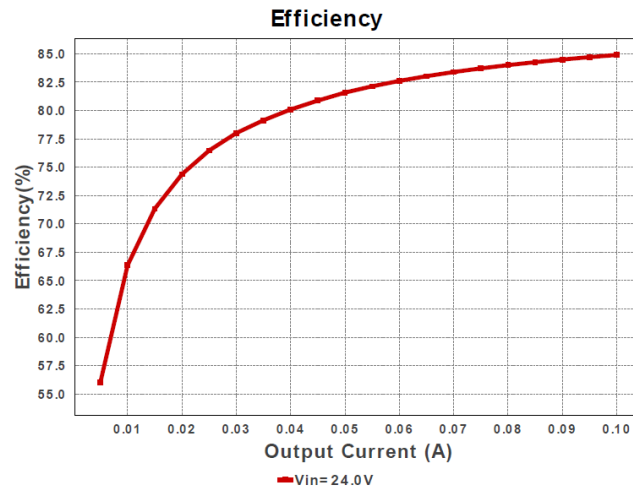


Figura 41: Eficiència - font d'alimentació de 15 V

7. Layout de la PCB

En aquest capítol farem el disseny final de la placa de circuit imprès (PCB) del nostre supervisor, prenent una sèrie de consideracions:

- Com que tenim components que només poden muntar-se mitjançant orificis passants (*through hole*) i d'altres amb muntatge superficial (SMD), ens veiem obligats a utilitzar una placa de doble cara.
- Per facilitar el disseny i evitar un excés de pistes que en dificultin el traçat, utilitzarem un pla de massa, de forma que puguem connectar tots els components que van a terra en una única gran pista.
- Crearem tots els mòduls que no es troben en les llibreries d'Eagle a partir de la informació dels seus fulls de característiques, concretament el mòdul Bluetooth i els mòduls reductors de tensió.

7.1. Creació dels mòduls

Per crear cada mòdul ens hem basat en la informació del seu full de característiques, a partir de les distàncies i el mapa de pins, creem el símbol i el footprint del component.

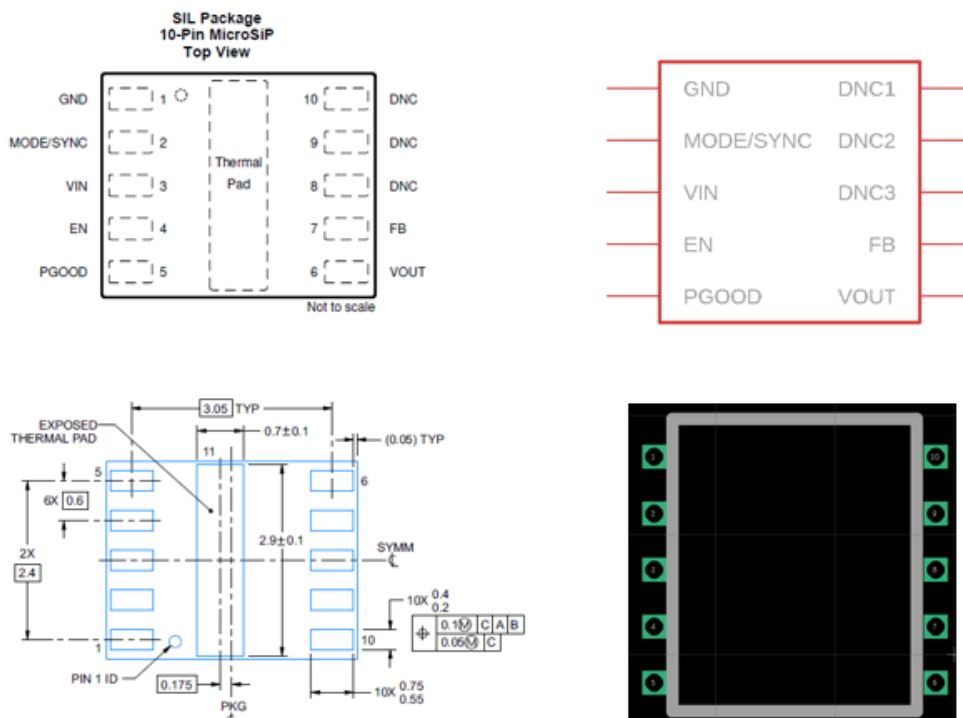


Figura 42: LMZM23601 – informació full de característiques (esquerra) – disseny Eagle (dreta)

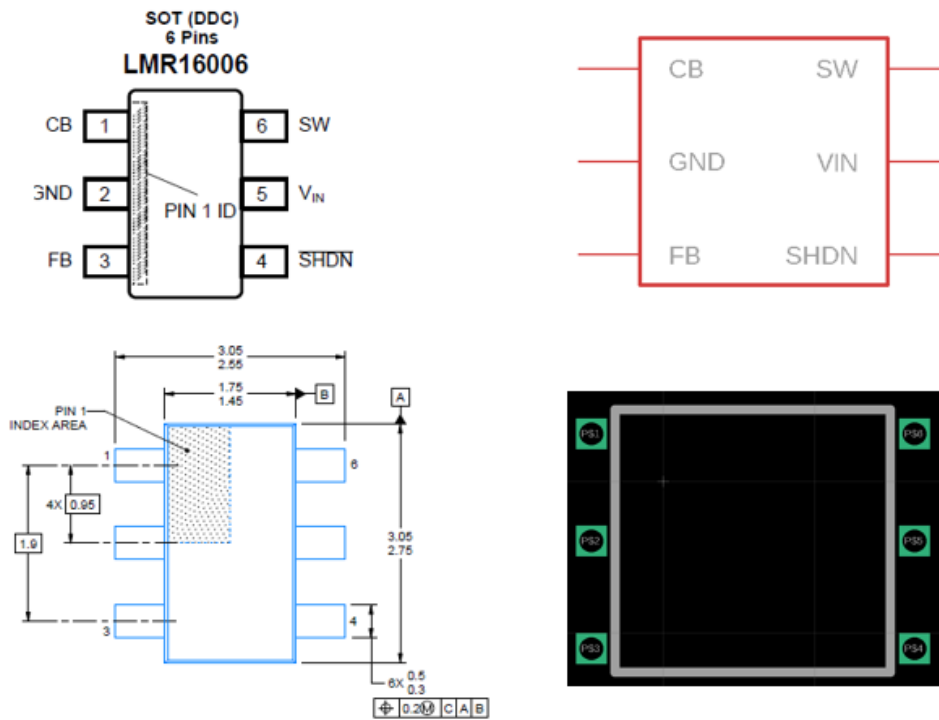


Figura 43: LMR16006 – informació full de característiques (esquerra) – disseny Eagle (dreta)

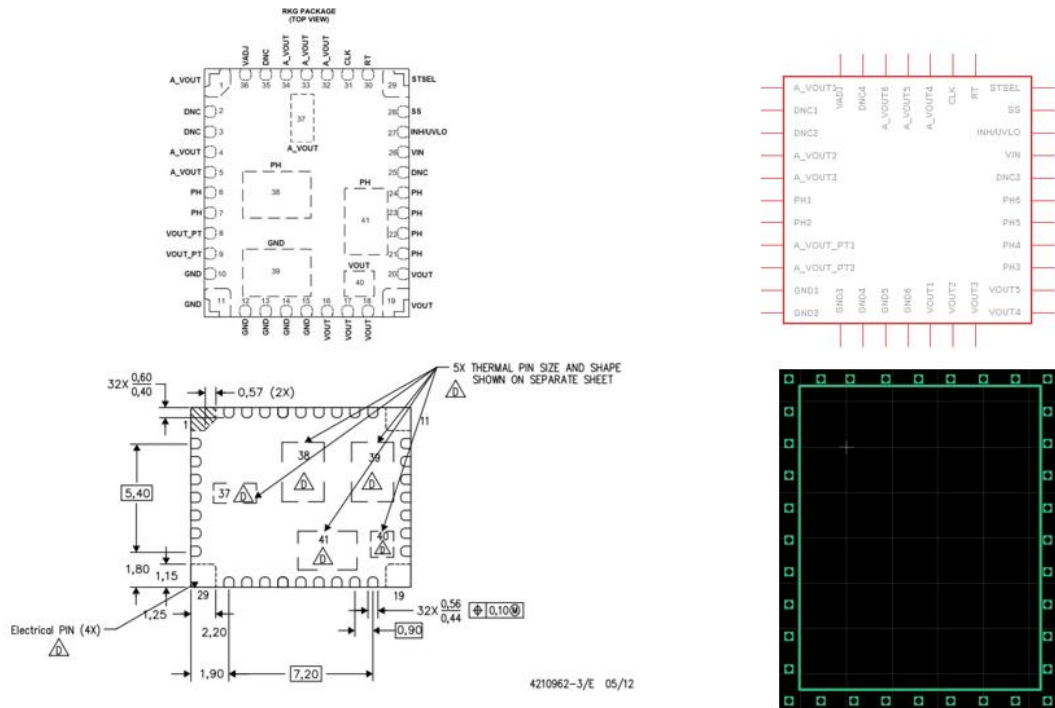


Figura 44: LMZ34002 – informació full de característiques (esquerra) – disseny Eagle (dreta)

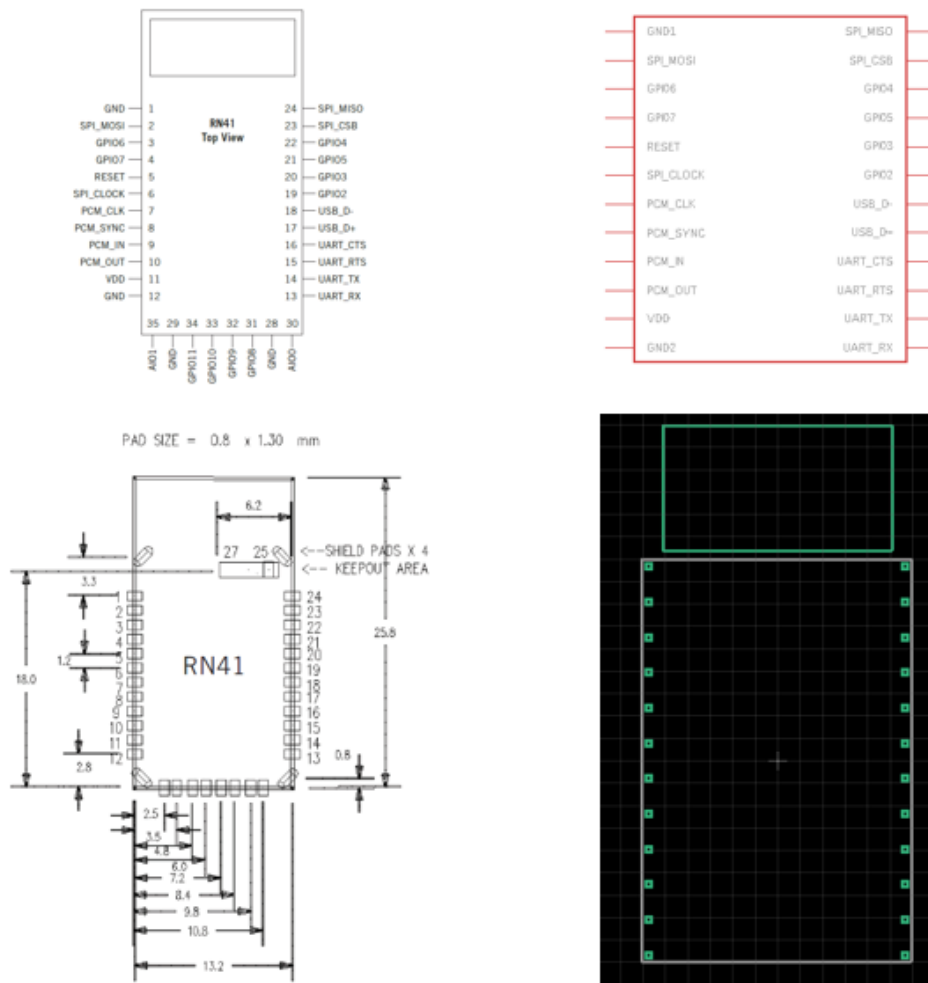
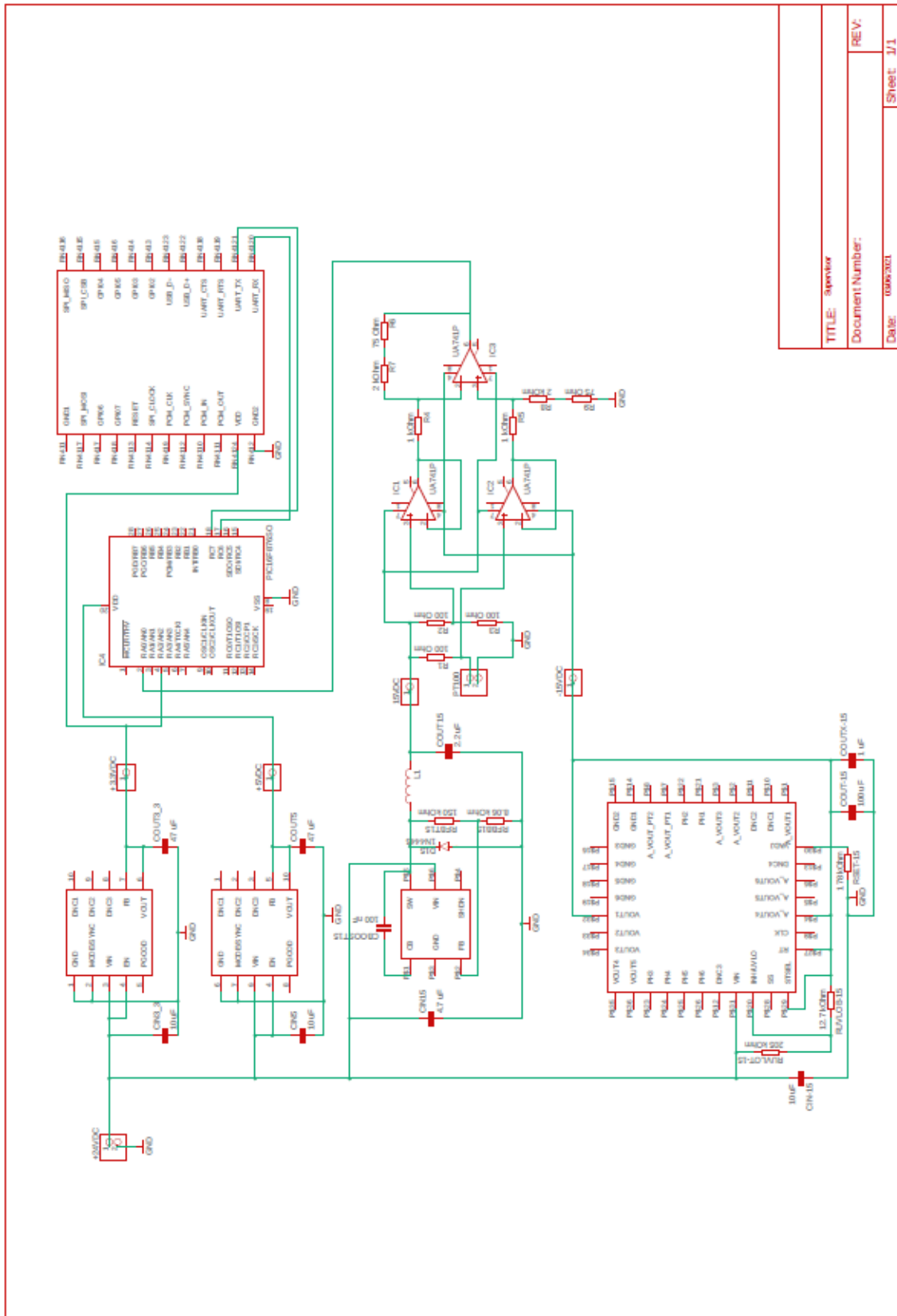


Figura 45: RN41 – informació full de característiques (esquerra) – disseny Eagle (dreta)

7.2. Esquemàtic del circuit

Un cop creats els components que ens calen, fem l'esquemàtic del circuit, que serà l'agregació de totes les parts que hem anat dissenyant per separat. Hem previst la col·locació de diversos connectors, de dos pins pel PT100 i pel subministrament dels 24 V de la font externa de la que disposem, i de 1 pin per les sortides de les diferents fonts, pensant en una possible mesura externa per poder comprovar el funcionament.



TITLE: Supervisor	REV:
Document Number:	
Date: 06/06/2021	Sheet: 1/1

Figura 46: Esquemàtic del supervisor de temperatura

7.3. Layout

Arriba el moment de posar tots els components i les seves connexions a la placa. Col·locarem els elements que han de ser fàcilment accessibles des de l'exterior, l'alimentació externa i la connexió per la sonda PT100 als seus extrems, a més deixarem l'antena del mòdul Bluetooth el més lliure d'obstacles possible.

Un cop situats els components, creem els dos plans de massa, un a la capa superior i un altre a la capa inferior, com ja hem comentat, això ens permetrà estalviar moltes pistes.

Per últim, executem l'opció d'auto enrutament (Autoroute) de la que disposa el programa Eagle, acabant manualment els traçats que no pot completar.

Un cop fet això el resultat final es mostra a continuació, d'una banda el layout complet i d'altra les vistes superior (top) i inferior (bottom) de la placa. En tots els casos, s'ha exclòs el pla de massa per veure més clarament el disseny.

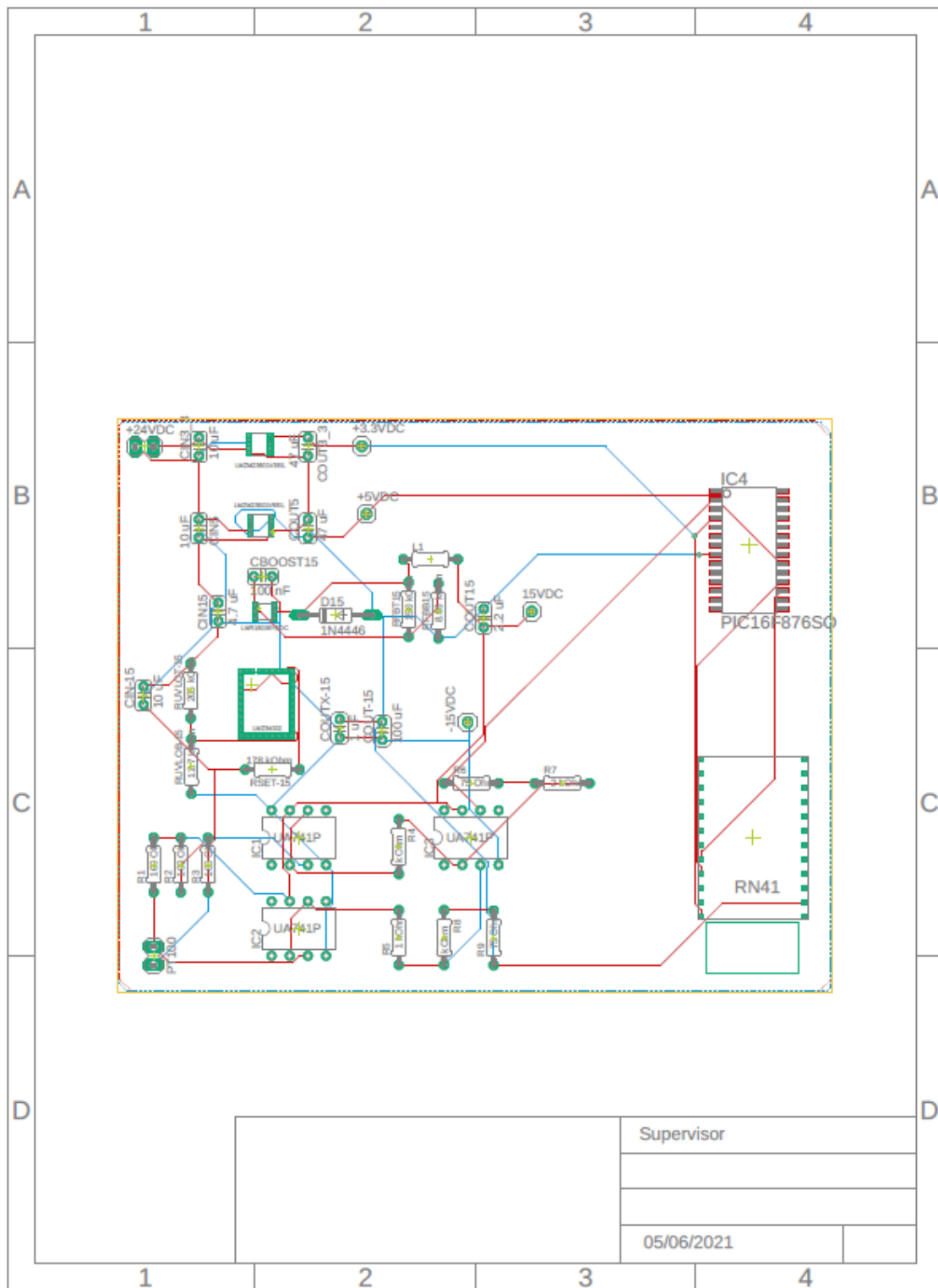


Figura 47: Layout del supervisor de temperatura

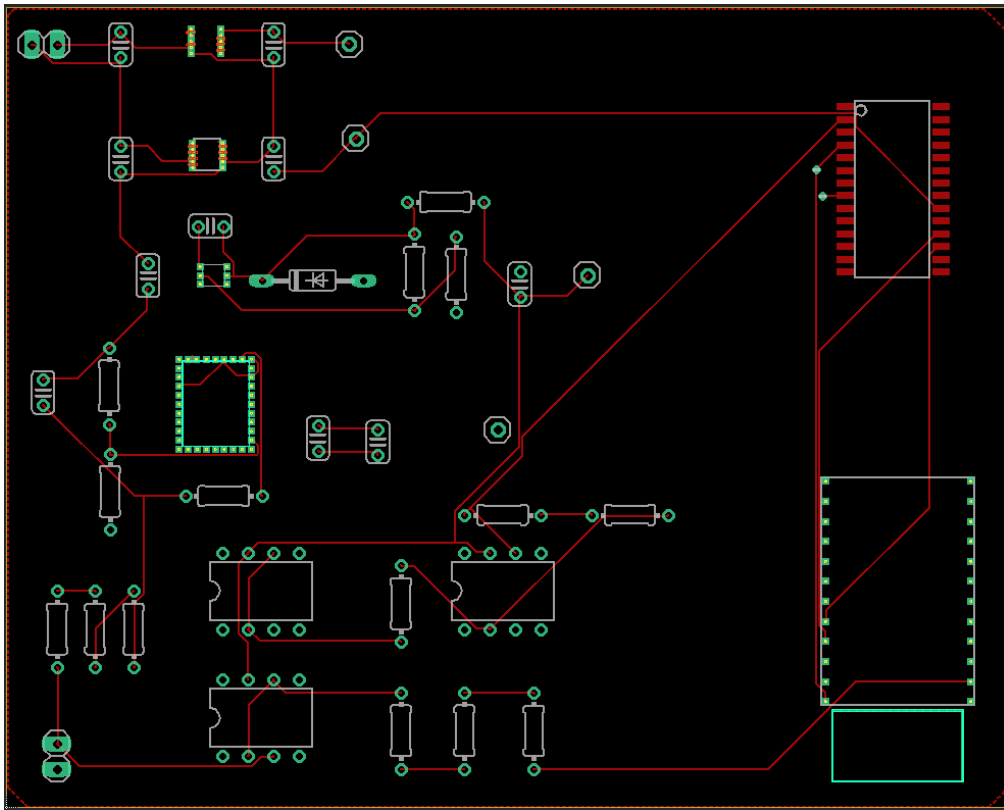


Figura 48: vista top placa PCB

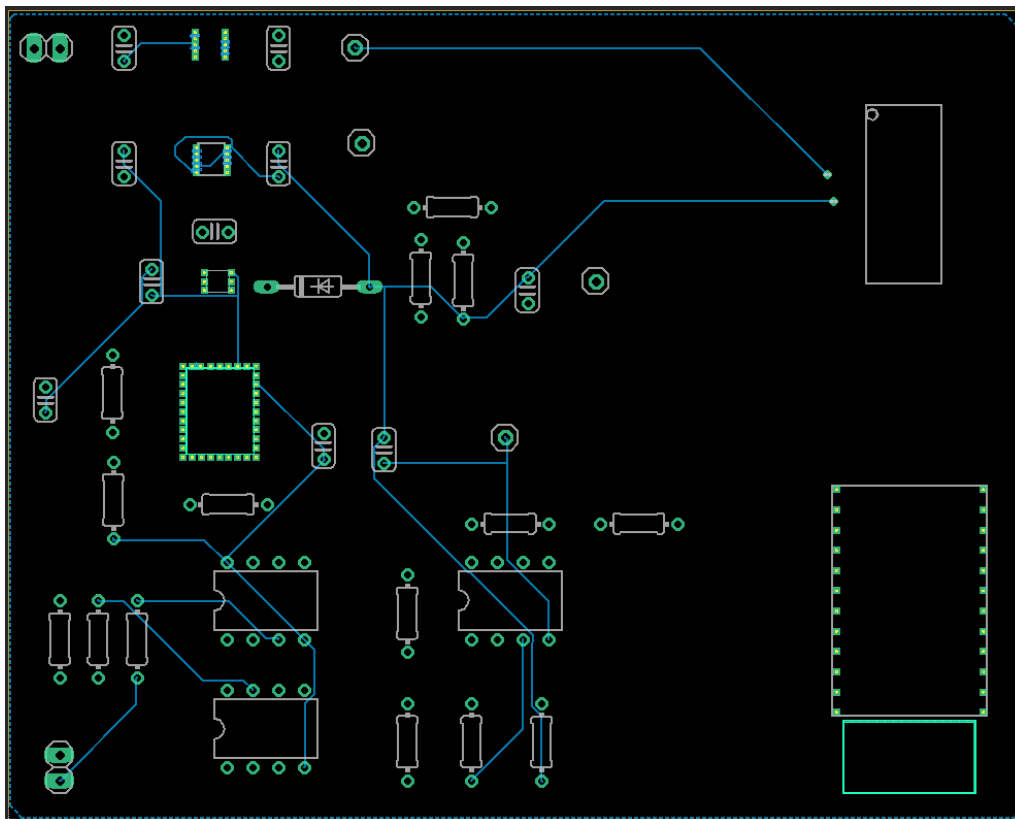


Figura 49: vista bottom placa PCB

7.4. Elecció de la placa

Un cop arribats a aquest punt, només ens queda la tria de la placa que utilitzarem. Les dimensions del circuit són d'aproximadament 80 x 100 mm, a més hem vist que necessitem que sigui de doble cara, amb tot això el model triat és la placa matriu AG631 del fabricant CIF.

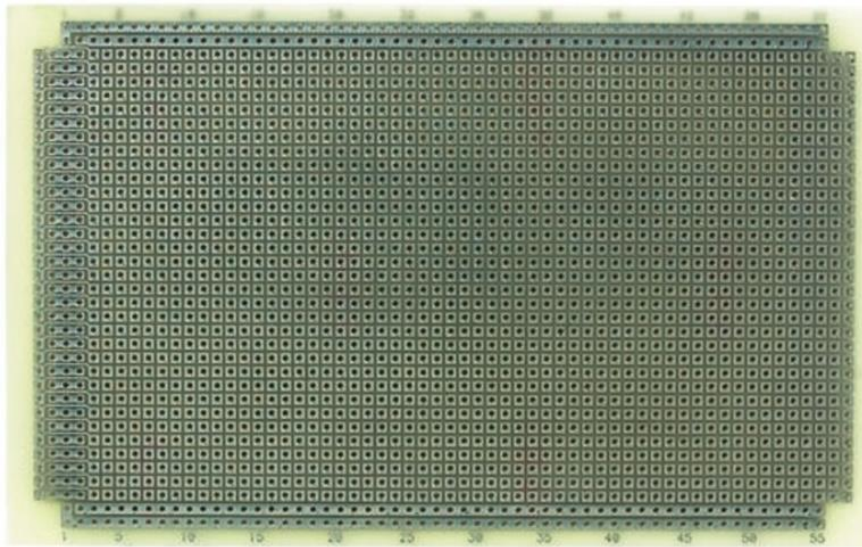


Figura 50: Placa matriu AG631

- Model: AG631
- Datasheet: <https://docs.rs-online.com/78ff/0900766b814482cc.pdf>
- Dimensions (longitud x profunditat x gruix): 100 x 160 x 1.6 mm
- Nombre de cares: 2
- Diàmetre orifici: 1mm
- Grau material FR: FR4
- Connexió DIN 41612
- Material: Fibra de vidre Exposit
- Preu: 16.10 €

7.5. Valoració econòmica del prototip

Amb l'elecció de la placa tenim el darrer dels components del nostre supervisor, així doncs en podem fer la valoració econòmica:

Nom component	Quantitat	Preu unitari	Cost total
Mòdul Bluetooth			
Mòdul Bluetooth RN41/I-RM	1	19,21 €	19,21 €
Total			19,21 €
Circuit captació temperatura			
Sonda PT100 - 35110017	1	66,07 €	66,07 €
Connector PCB femella 2 pins	1	0,23 €	0,23 €
Resistència precisió YR1B100RCC (100 Ω - Tolerància 0,1%)	3	0,24 €	0,72 €
Resistència precisió YR1B75RCC (75 Ω - Tolerància 0,1%)	2	0,41 €	0,82 €
Resistència precisió YR1B1KRCC (1 k Ω - Tolerància 0,1%)	2	0,41 €	0,82 €
Resistència precisió YR1B2KRCC (2 k Ω - Tolerància 0,1%)	2	0,37 €	0,74 €
Amplificador operacional precisió OPA 209AID	3	2,57 €	7,71 €
Total			77,11 €
Microcontrolador			
Microcontrolador PIC16F873A	1	4,12 €	4,12 €
Total			4,12 €
Font d'alimentació 3.3 V			
Convertidor DC/DC LMZM23601V3SIL	1	2,12 €	2,12 €
Condensador GCM31CM8EG106KE08L (10 μ F - Tolerància 10%)	1	1,11 €	1,11 €
Condensador A768EB476M1ELAS42 (47 μ F - Tolerància 20%)	1	0,41 €	0,41 €
Connector PCB mascle 1 pin	1	0,23 €	0,23 €
Total			3,87 €
Font d'alimentació 5 V			
Convertidor DC/DC LMZM23601V5SIL	1	2,12 €	2,12 €
Condensador C1206C106K9PAUTO (10 μ F - Tolerància 10%)	1	0,83 €	0,83 €
Condensador A768EB476M1ELAS42 (47 μ F - Tolerància 20%)	1	0,41 €	0,41 €
Connector PCB mascle 1 pin	1	0,23 €	0,23 €
Total			3,59 €
Font d'alimentació 15 V			
Convertidor DC/DC LMR16006YDDC	1	2,12 €	2,12 €
Condensador GRT188C71C225KE3D (2.2 μ F - Tolerància 10%)	1	0,23 €	0,23 €
Condensador GRT188C71C475KE13 (4.7 μ F - Tolerància 10%)	1	0,22 €	0,22 €
Condensador C1206C104KAREAUTO (100 nF - Tolerància 10%)	1	0,23 €	0,23 €
Díode Schottky RB511SM-30T2R	1	0,17 €	0,17 €
Resistència MFR-25FTF52-150K (105 k Ω - Tolerància 1%)	1	0,11 €	0,11 €

Resistència MFR-25FTF52-8K06 (8.6 kΩ - Tolerància 1%)	1	0,15 €	0,15 €
Inductor SDR0403-270KL (27 μF - Tolerància 10%)	1	0,51 €	0,51 €
Connector PCB mascle 1 pin	1	0,23 €	0,23 €
Total			3,97 €
Font d'alimentació -15 V			
Convertidor DC/DC LMZ34002	1	5,41 €	5,41 €
Condensador C1206C105K5RECTU (1 μF – Tolerància 10%)	1	0,27 €	0,27 €
Condensador C1206C106K9PAUTO (10 μF – Tolerància 10%)	1	0,83 €	0,83 €
Condensador C1206C107M9PAC (100 μF – Tolerància 10%)	1	2,60 €	2,60 €
Resistència MFR-25FTF52-12K7 (12.7 kΩ – Tolerància 1%)	1	0,10 €	0,10 €
Resistència MFR-25FTF52-150K (178 kΩ – Tolerància 1%)	1	0,10 €	0,10 €
Resistència MFR-25FTF52-150K (205 kΩ – Tolerància 1%)	1	0,10 €	0,10 €
Connector PCB femella 1 pin	1	0,23 €	0,23 €
Total			9,64 €
Placa PCB			
Placa AG631 (100 x 160 x 1.6 mm)	1	16,10 €	16,10 €
Connector PCB femella 2 pins (Alimentació externa)	1	0,23 €	0,23 €
			16,33 €
Valoració total prototip			137,84 €

Taula 8: Valoració econòmica del prototip

8. Conclusions i ampliació

Un cop finalitzades les tasques del projecte ens toca fer el balanç de la feina feta, analitzar la consecució dels objectius i comentar els encerts i els errors del procés seguit. També comentarem breument algunes idees per a possibles ampliacions en la funcionalitat del nostre prototip.

8.1. Consecució dels objectius fixats

Repassem els objectius plantejats en iniciar aquest treball. D'una banda els objectius genèrics:

- Estudiar la tecnologia Bluetooth, així com el mercat dels seus mòduls.
- Adaptar i digitalitzar senyals analògics.
- Programar microcontroladors.
- Disseny de font d'alimentació.
- Disseny del layout de la placa PCB.

I d'altra els específics:

- Dissenyar un supervisor remot de temperatura via Bluetooth
- Dissenyar una font d'alimentació i els circuits d'adaptació de les entrades i sortides a nivell del microcontrolador.

En general podem donar els objectius per assolits amb el prototip dissenyat, ja que totes les parts s'han pogut dur a terme amb resultats satisfactoris.

Cal mencionar, però, no totes les funcionalitats del microcontrolador s'han pogut provar. Ha estat el cas de la comunicació amb el mòdul Bluetooth, ja que Proteus no disposa d'aquest darrer mòdul, per tant s'ha comprovat només que la conversió analògica – digital i el càlcul de temperatura es feien de forma correcta.

8.2. Anàlisi de la metodologia i de la gestió dels riscos

Tot i que s'ha aconseguit el compliment dels objectius i el lliurament dins del termini del treball un cop finalitzat, durant el procés s'han detectat una sèrie d'incidències que si bé no han tingut un gran impacte en el resultat final, si han provocat desajustos en algunes de les tasques i l'endarreriment en algun lliurament.

Per tal de corregir-ho i extreure'n un aprenentatge de cara a futurs treballs i projectes, recorrerem a l'anàlisi de riscos. Primer analitzarem els riscos detectats a l'inici i l'efectivitat de les accions preventives i correctores, després veurem les incidències que no s'havien previst i com les podríem haver evitat.

De tots els riscos detectats, els dos que han tingut cert impacte en el projecte han estat:

- **Risc R01: Dimensionament erroni de la durada de les tasques de disseny.**

Certament el desconeixement d'alguna de les tasques ha provocat cert endarreriment al projecte. Es va considerar la opció d'habilitar els caps de setmana com a dies hàbils, i això s'ha hagut de dur a terme pràcticament des del primer dia, però especialment en les tasques de programació del microcontrolador.

El fet que s'hagi acabat el treball a temps no pot amagar que en certs moments això ha posat en risc la consecució final dels objectius, fent fins i tot que una de les tasques previstes pel tercer lliurament (el disseny de les fonts d'alimentació) passés al lliurament final. Podem dir doncs que s'ha aconseguit pal·liar el risc però en futurs treballs s'haurà de fer un millor anàlisi de les tasques i la seva durada.

- **Risc R03: Problemes amb el software.**

Durant la descàrrega d'un dels programes necessaris pel projecte, concretament Proteus, un problema amb la llicència va obligar a reinstal·lar diverses vegades el software. Afortunadament es va preveure una tasca específica per fer aquesta instal·lació com a acció preventiva, evitant així que aquesta demora provoqués un endarreriment general en la resta de tasques. L'acció preventiva ha estat doncs efectiva.

Més enllà dels riscos previstos, dues incidències han afectat directament l'execució del treball.

La primera és que la resta d'assignatures que he cursat en paral·lel a aquesta han requerit molta més dedicació de la que esperava, així que les hores diàries que s'han pogut dedicar al TFG s'han reduït en alguns moments. No es va preveure que factors externs limitessin la meua disponibilitat i s'hauria hagut de fer.

La segona i la que més impacte ha tingut és el desconeixement del funcionament del software necessari, especialment del programari relacionat amb el microcontrolador (MPLAB i Proteus). S'ha hagut de dedicar molt de temps durant l'execució de les tasques a buscar manuals i vídeos explicatius, temps no previstos en la planificació i que han provocat en darrer terme l'endarreriment en l'entrega de les tasques posteriors. De cara futurs projectes s'haurà de planificar una tasca específica de formació en el programari necessari per tal que quan s'arribi a la realització de tasques del disseny l'ús del programa sigui fluid.

8.3. Futures línies de treball

Amb el disseny finalitzat s'obre la possibilitat d'una sèrie de futures ampliacions a les seves funcionalitats, algunes d'aquestes serien:

- Aquest projecte s'ha centrat en el disseny del dispositiu, el següent pas lògic seria la implementació física del prototip.
- Incorporar un panell LED controlat pel nostre microcontrolador que mostri la temperatura, tot i que la idea és que la lectura es faci via Bluetooth, si es té visió directa del dispositiu tindrem la informació més a mà.
- La creació d'una aplicació per a mòbils i tauletes que permeti rebre i analitzar les dades rebudes. En aquesta línia, si a més de la connexió Bluetooth el nostre dispositiu es pogués connectar a la xarxa via WiFi o 3G, no caldria la proximitat física de l'usuari per poder monitoritzar la temperatura.
- El nostre disseny es purament observador, no té cap capacitat d'actuació en cas de detectar una temperatura no adequada. La primera opció, i la més senzilla, seria dotar-lo d'una alarma sonora, controlada pel microcontrolador, de forma que en cas que la temperatura presenti una excursió fora dels marges desitjats, avisi els operaris propers perquè puguin actuar.
- Si volem anar més enllà en el punt anterior, el nostre supervisor podria enviar instruccions via Bluetooth a dispositius externs que també disposin d'aquesta connexió i que controlin mecanismes que tinguin impacte sobre

la temperatura. Per exemple, en pujar la temperatura d'un cert punt, el nostre dispositiu podria emetre una instrucció per tal que una finestra automàtica controlada per un dispositiu amb Bluetooth s'obri.

- Amb aquest projecte només s'ha treballat la temperatura, però atès que el nostre microcontrolador disposa de cinc canals de conversió A/D, es podrien monitoritzar altres magnituds com la lluminositat, el nivell de soroll acústic, la humitat relativa, etcètera.

Glossari

Amplificador operacional (AO): Dispositiu electrònic amb dues entrades i una sortida que, connectat a una alimentació, amplifica la tensió entre les entrades.

Bluetooth: Especificació per a xarxes sense fils d'àrea personal (WPAN) que permet transmissió de veu i dades a distàncies curtes. mitjançant un enllaç de radiofreqüència.

Bluetooth Low Energy (BLE): Protocols Bluetooth de consum reduït.

Convertidor analògic – digital (ADC): Dispositiu electrònic capaç de convertir un senyal analògic en digital.

Diagrama de Gantt: Eina gràfica que permet visualitzar la durada de les tasques d'un projecte, així com les relacions entre elles.

Enhanced Data Rate (EDR): Taxa millorada de dades.

Layout: La forma en que estan distribuïts els elements i pistes en una placa PCB.

Microcontrolador: Circuit integrat programable capaç d'executar les ordres que té a la memòria.

OEM: Producte fabricat per una empresa usat per una segona per fabricar productes sota la seva marca.

PCB: Placa mecanitzada sobre la que es munten components electrònics que s'interconnecten mitjançant pistes de coure.

Piconet: Xarxa amb un element mestre i fins a sis esclaus que es connecten utilitzant Bluetooth.

Transceptor: Dispositiu que consta de transmissor i receptor que comparteixen circuit o són dins la mateixa caixa.

UART: Transmissor – Receptor Asíncron Universal.

USART: Transmissor – Receptor Síncron – Asíncron Universal.

WiFi: Tecnologia que permet la connexió sense fils a la xarxa mitjançant un enllaç de radiofreqüència.

3G: Tecnologia que permet la transmissió de veu i dades a través de telefonia mòbil.

Bibliografia

- Sáenz, N.; Vidal, R. **Redacció de textos científicotècnics**. Universitat Oberta de Catalunya. P08/19018/00445.
- Bataller, A. **Gestió i desenvolupament de projectes**. Universitat Oberta de Catalunya. P08/19018/00444.
- Beneito, R. **Presentació de documents i elaboració de presentacions**. Universitat Oberta de Catalunya. P08/19018/00446.
- Rosselló, M. **Aplicacions electromagnètiques i electròniques**. Universitat Oberta de Catalunya. PID_00163582.
- Satué, A. **Comunicacions sense fils**. Universitat Oberta de Catalunya. PID_00158026.
- Satué, A. **Xarxes personals sense fils**. Universitat Oberta de Catalunya. PID_00158027.
- Rodríguez, J.R.; Mariné, P. **Planificació del projecte**. Universitat Oberta de Catalunya. PID_00247936.
- Bara, M. **L'amplificador operacional**. Universitat Oberta de Catalunya. PID_00170100.
- **¿Qué es Bluetooth?** 20/07/2020. IONOS.
<https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-bluetooth/>
- Fernández, Y. **Bluetooth: diferencias y características de sus clases y versiones**. 21/04/2021 Xataka Basics.
<https://www.xataka.com/basics/bluetooth-diferencias-caracteristicas-sus-clases-versiones>
- **¿Qué es un microcontrolador?** 25/06/2019. Blog Smelpro.
<https://smelpro.com/blog/que-es-un-microcontrolador/>
- Martín, A. **Manual de microcontroladores PIC**. Universidad de Oviedo.
<https://www.unioviedo.es/ate/alberto/manualPic.pdf>
- Canal Electgpl. **Creación de Componentes con Eagle**. 21/12/2016. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=OX8mKIXJrVE>
- Canal Electgpl. **Tutorial de Eagle 9 - Universitario - PCB Nivel Básico**. 21/12/2016. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=OX8mKIXJrVE>

Llocs web consultats

- Portal del distribuïdor de components electrònics Mouser.
<https://www.mouser.es/aboutus/>
- Portal del distribuïdor de components electrònics RS.
<https://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=aboutRS>
- Portal Picguides.
<http://picguides.com/>
- Aplicació en línia Webench Power Designer de Texas Instruments.
<https://webench.ti.com/power-designer/>
- Blog de electrònica Electgpl.
<http://electgpl.blogspot.com/>
- Portal de la normativa APA:
<https://normas-apa.org/>
- Portal de consultes lingüístiques OPTIMOT:
<https://aplicacions.llengua.gencat.cat/llc/AppJava/index.html>