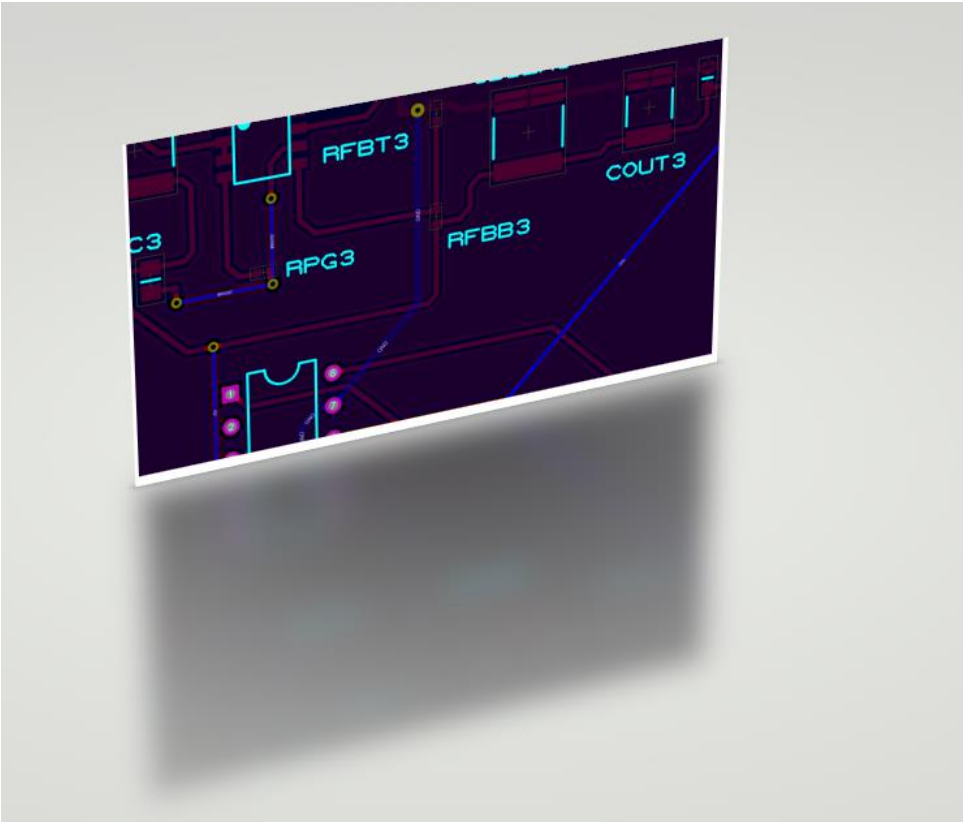
Universitat Oberta de Catalunya uoc.edu



Diseño de un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth

Alberto Naveira Rodríguez
Curso 2020-21 – 1º Semestre
Diseño de Sistemas Electrónicos

Consultor: **Carlos Gonzalo Moreno Soriano**
Profesor responsable de la asignatura: **Germán Cobo Rodríguez**

Fecha Entrega: 01/2021

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-No Comercial-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons

Licencias alternativas (elegir alguna de las siguientes y sustituir la de la página anterior)

A) Creative Commons:

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 España de Creative Commons

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial 3.0 España de Creative Commons

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-SinObraDerivada 3.0 España de Creative Commons

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 España de Creative Commons

Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento 3.0 España de Creative Commons

B) GNU Free Documentation License (GNU FDL)

Copyright ©
2021 ALBERTO NAVEIRA RODRÍGUEZ.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3

or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.
A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

C) Copyright

© Alberto Naveira Rodríguez
Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	*Diseño de un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth*
Nombre del autor:	*Alberto Naveira Rodríguez*
Nombre del consultor/a:	*Carlos Gonzalo Moreno Soriano*
Nombre del PRA:	*Germán Cobo Rodríguez*
Fecha de entrega:	01/2021
Titulación:	*Grado en ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación*
Área del Trabajo Final:	*Diseño de sistemas electrónicos*
Idioma del trabajo:	*Castellano*
Palabras clave	*Máximo 3 palabras clave*

Resumen del Trabajo

En este proyecto se diseñará un equipo electrónico que permita recoger información de una magnitud física como la temperatura y transmitirla sin hilos hacia otros equipos en donde pueda ser procesada. El conocimiento de la temperatura es importante en entornos industriales y domésticos, motivo por el que se utiliza la tecnología Bluetooth, que es óptima en distancias cortas y no necesita una trayectoria limpia de obstáculos.

La metodología utilizada se basa en dividir el proyecto en tareas elementales e independientes entre sí que permitan cumplir con una planificación lineal que se fundamenta en la consecución de cuatro hitos fundamentales: las cuatro entregas. La primera entrega se enfoca hacia la planificación, la segunda y tercera hacia los aspectos técnicos y la cuarta a la entrega de la documentación.

En suma, los objetivos planteados en el inicio del proyecto han sido alcanzados, tanto los de características genéricas en unos estudios de grado como los específicos del proyecto. Como genéricos se destacan los siguientes: utilizar y relacionar todos los conocimientos para resolver problemas, ejercitar las competencias de comunicación escrita, analizar resultados, emitir conclusiones y proponer ampliaciones futuras. Asimismo, todos los objetivos específicos se resumen en que se ha logrado diseñar un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth con una alimentación eficiente y un consumo reducido.

Finalmente, cabe destacar que se plantean cuatro ampliaciones futuras: monitorizar más magnitudes, utilizar un módulo de comunicaciones de mayor alcance, diseñar un equipo receptor y el monitorizar la señal en espera activa basado en la gestión de interrupciones.

Abstract

In this project, it will be designed an electronic equipment that allows to get information of a physical magnitude, such as temperature, and transmit it wirelessly to any other equipment where it can be processed. Nowadays, the knowledge of temperature is very important in industrial and domestic environments with many obstacles and not too long distances, and that is the reason why Bluetooth is used, because this technology is optimal for short distances and does not require a clear path of obstacles.

The methodology used is based on dividing the project into elementary and independent tasks to achieve four fundamental milestones in a linear planning: the four deliveries. The first focuses on planning, the second and third on technical aspects and the fourth on the documentation.

In short, the objectives set at the beginning of the project have been achieved, those of generic characteristics to a degree and the specifics of the project. As generic, the following stand out: use and relate all knowledge to solve problems, exercise written communication skills, analyse results, issue conclusions and propose future extensions. Likewise, all the specific objectives have been achieved due to the fact that it has been possible to design a remote temperature supervisor via Bluetooth with an efficient power supply and reduced consumption.

Finally, it should be noted that four future extensions are proposed: expanding the number of monitored input signals, using a communications module that reaches a greater distance, designing the signal reception equipment and monitoring the input signal by active standby based on interruption management.

ÍNDICE

Relación de figuras iii
Relación de tablas v
1. Introducción 1
1.1 Contexto y justificación del trabajo 1
1.2 Objetivos del trabajo 1
1.3 Enfoque y método seguido 2
1.4 Planificación del Trabajo 3
1.4.1 Actividades del proyecto 4
1.4.2 Diagrama temporal del proyecto 8
1.4.3 Análisis de riesgos y plan de contingencia 10
1.5 Breve sumario de productos obtenidos 12
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria 12
2. Módulo Bluetooth 14
2.1 Introducción a la tecnología Bluetooth 14
2.2 Análisis de mercado de los módulos Bluetooth y elección 17
3. Sensor de temperatura y circuito de adaptación 19
3.1 Introducción a los sensores de temperatura 19
3.2 Análisis de mercado de los sensores de temperatura y elección 23
3.3 Diseño del circuito de adaptación 25
4. Microcontrolador 30
4.1 Introducción a los microcontroladores 30
4.2 Análisis de mercado de los microcontroladores y elección 31
4.4 Simulación del microcontrolador 36
5. Diseño de la fuente de alimentación 41
5.1 Introducción a las fuentes de alimentación 41
5.2 Cálculo del consumo del equipo 42
5.3 Elección de las fuentes de alimentación 42
5.3.1 Diseño de la fuente de alimentación de +5 voltios 42
5.3.2 Diseño de la fuente de alimentación de 3,30 voltios 44
5.3.3 Diseño de la fuente de alimentación de -5 voltios 46
6. Diseño del *layout* de la PCB 48
6.1 Esquema definitivo del circuito 48
6.2 *Layout* de la PCB 51
7. Conclusiones 58
7.1 Consecución de los objetivos 58
7.2 Análisis de la planificación y de la metodología 58
7.3 Líneas de trabajo futuro 59
8. Glosario 60
9. Bibliografía 61
10. Referencias 64
11. Anexos 65
11.1 Anexo 1: Valoración económica del equipo 65

Relación de figuras

Figura 1: Diagrama de bloques del equipo electrón 2
Figura 2: Calendario del TFG 3
Figura 3: Diagrama de Gantt del proyecto 9
Figura 4: Módulo Bluetooth RN-41 de Clase 1 18
Figura 5: PT100 [4] 19
Figura 6: Termistor NTC [5] 20
Figura 7: Esquema de termopar [6] 21
Figura 8: Termopar tipo k [7] 21
Figura 9: Par diferencial 22
Figura 10: Sensor LM35 [8] 22
Figura 11: Sonda PT100 RS PRO 2,5m [9], [10] y [11] 24
Figura 12: Puente de Wheatstone 25
Figura 13: Amplificador de instrumentación 26
Figura 14: Simulación del amplificador de instrumentación 27
Figura 15: Simulación del circuito completo para 20 ºC 28
Figura 16; Simulación del circuito completo para 120 ºC 28
Figura 17: Circuito integrado LM324K 28
Figura 18: Esquema del amplificador INA122 29
Figura 19: Simulación del circuito con el componente INA122 29
Figura 20: Arquitecturas de los microcontroladores 30
Figura 21: Microcontrolador PIC16F873A y pines 32
Figura 22: Simulación del microcontrolador a distintas temperaturas 37
Figura 23: Simulación del código de la función BLUETOOTH_test() 37
Figura 24: Simulación del circuito completo para 113 ºC 38
Figura 25: Simulación del circuito con PT100 real y ajuste a cero V 39
Figura 26: Simulación del circuito con PT100 real y ajuste a 3,30 V 40
Figura 27: Fuente de alimentación de 5 voltios 42
Figura 28: Simulación de la fuente de 5 V (Vout, Vin) 43
Figura 29: Simulación de la fuente de 5 V (Pout, Eficiencia) 43
Figura 30: Fuente de alimentación de 3,30 V 44
Figura 31: Simulación de la fuente de 3,30 V (Vout, Vin) 45
Figura 32: Simulación de la fuente de 3,30 V (Pout, Eficiencia) 45

Figura 33: Fuente de alimentación de -5 V 46
Figura 34: Simulación de la fuente de -5 V (Vout, Vin) 47
Figura 35: Simulación de la fuente de -5 V (Pout, Eficiencia) 47
Figura 36: Esquemático del componente TPS560430 48
Figura 37: Esquemático del componente TLV62568 48
Figura 38: Esquemático del componente LMR33630 48
Figura 39: Esquemático del componente RN41XV 49
Figura 40: Intensidades en los circuitos de regulación 49
Figura 41: Esquema electrónico completo 50
Figura 42: Placa RE200-LFDS de fibra de vidrio epoxídico 51
Figura 43: Configuración de las redes en la PCB 52
Figura 44: Layout del circuito 53
Figura 45: Vista Top Copper de la PCB 54
Figura 46: Vista Botton Copper de la PCB 55
Figura 47: Vista en planta de la placa sin los componentes 56
Figura 48: Vista tridimensional de la placa con los componentes 57

Relación de tablas

Tabla 1: Fechas clave del proyecto 3
Tabla 2: Tareas del proyecto 7
Tabla 3: Plan de contingencia 11
Tabla 4: Potencia y alcance de los dispositivos Bluetooth 14
Tabla 5: Evolución de la tecnología Bluetooth 16
Tabla 6: Propiedades de las sondas de resistencia 20
Tabla 7: Características del PIC16F873A 32
Tabla 8: Consumos máximos de los principales componentes 42
Tabla 9: Valoración económica del equipo electrónico 65

1. Introducción

Este primer capítulo está dedicado a explicar a grandes rasgos en qué consiste este TFG, desde las razones por las que se realiza hasta el fin que se persigue. Asimismo, se desarrolla la planificación del proyecto y la descripción del producto que se pretende obtener. Finalmente, se realiza un breve recorrido por los restantes capítulos del TFG.

1.1 Contexto y justificación del trabajo

Hoy en día es fundamental la comunicación permanente en todos los ámbitos de la vida; por ejemplo la industria, los medios de comunicación, la administración o la salud. Sin ir más lejos, la humanidad está sufriendo uno de los peores acontecimientos sanitarios en muchos años: la COVID-19. Merece la pena considerar en qué forma se habría luchado contra la pandemia en otro tiempo, un tiempo en el que no existiesen las tecnologías de la comunicación, como las redes Wi-Fi o las redes GPRS y 3G/4G/5G que permiten conectarse a internet en cualquier lugar y a cualquier hora.

Sin embargo, aquí no se pretende tal trascendencia, sino que se intenta aportar un grano de arena en el desarrollo de las tecnologías de comunicación. En concreto, en este proyecto se diseñará un equipo electrónico que permita recoger información de una magnitud física como la temperatura y transmitirla sin hilos hacia un lugar donde pueda ser utilizada. En general, el conocimiento de la temperatura es importante en entornos industriales y domésticos, motivo por el que se ha optado por utilizar la tecnología inalámbrica Bluetooth, que es óptima en distancias cortas y no necesita una trayectoria limpia de obstáculos.

1.2 Objetivos del trabajo

El primer objetivo general es el de utilizar y relacionar todos los conocimientos, técnicas y habilidades adquiridas en los estudios del Grado en ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación para la resolución de un problema singular. Se pretende, también, alcanzar un alto nivel en el desarrollo de las competencias de comunicación escrita y otras también genéricas como:

- Identificar los objetivos de un proyecto y conseguir su resolución.
- Analizar los problemas encontrados y proponer soluciones.
- Analizar los resultados y emitir las conclusiones que recojan la aportación del proyecto.
- Proponer las líneas de ampliación futuras.

Del mismo modo, se pretende alcanzar los siguientes objetivos más técnicos y específicos:

- Diseñar un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth.
- Diseñar fuentes de alimentación eficientes.

- Diseñar circuitos analógicos que realicen las funciones de amplificador, comparador y generador de señal.
- Diseñar los circuitos de adaptación de las entradas y salidas a nivel del microcontrolador.
- Programar procesadores digitales para el procesamiento de señales.

1.3 Enfoque y método seguido

El enfoque del proyecto está orientado a conseguir el objetivo principal, que consiste en diseñar un equipo electrónico que realice la supervisión remota de temperatura vía Bluetooth. Para conseguirlo no se adaptará ningún equipo existente sino que se desarrollará un producto nuevo. El equipo se diseñará a partir del ensamblaje de componentes electrónicos más específicos ya existentes en el mercado.

El sistema se dividirá en cinco bloques fundamentales:

1. Sensor de temperatura.
2. Bloque de alimentación.
3. Bloque de adaptación de señales.
4. Microcontrolador.
5. Módulo Bluetooth.

A grandes rasgos, el proceso se basará en la búsqueda, documentación y elección de componentes, su adaptación a las necesidades del diseño y su posterior ensamblaje según el siguiente diagrama de bloques:

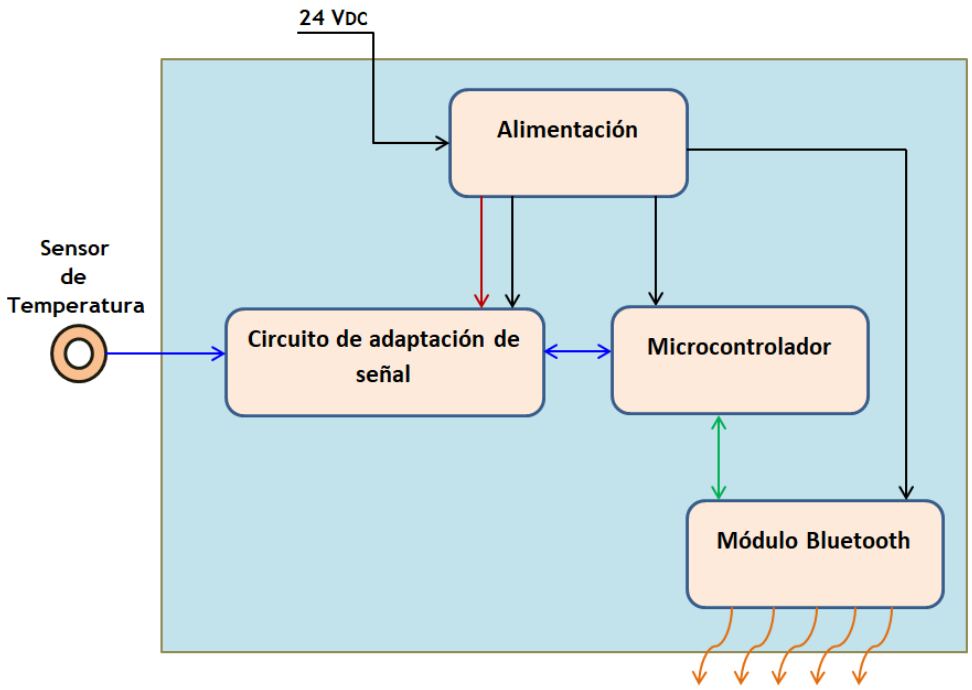


Figura 1: Diagrama de bloques del equipo electrónico

1.4 Planificación del Trabajo

En primer lugar, se muestran los hitos más importantes del proyecto:

Evento	Fecha
Inicio del TFG	17/09/2020
Entrega del Plan de trabajo	05/10/2020
Entrega de la PEC 2	02/11/2020
Entrega de la PEC 3	07/12/2020
Entrega de la memoria y de la presentación	11/01/2021
Defensa del proyecto	20 a 22/01/2021

Tabla 1: Fechas clave del proyecto

Para una panificación óptima del trabajo se necesita estimar de una forma muy aproximada el tiempo de dedicación. El calendario previsto del proyecto puede servir de orientación para realizar los cálculos.

Figura 2: Calendario del TFG

No sería conservador considerar, en las actuales circunstancias, que el tiempo diario que se dedicará a la elaboración del proyecto será de dos horas en días laborables y de cuatro horas en días no laborables -fines de semana y días festivos-. Así, resultan 78 días laborables y 39 días no laborables. La cuenta es sencilla: 312 horas disponibles.
Quince horas semanales es una buena estimación para la realización de un proyecto de características similares. En las 16 semanas que ofrece el calendario serían un total de 240 horas. Son horas efectivas de trabajo que, con un rendimiento del 80%, suponen 300 horas reales. Todavía se dispondría de un pequeño margen de 12 horas para imprevistos. Son contabilizadas dos horas por cada día de los tres de defensa.

1.4.1 Actividades del proyecto

A continuación se construye una tabla con las tareas principales y su división en actividades más elementales. Para cada una de ellas se indica la siguiente información: El número de orden y la definición de la tarea, así como la tarea precedente que actuará de llave; la fecha de inicio y la fecha de finalización; y una estimación del tiempo de dedicación necesario en horas.

Nº	Definición de la tarea	Tarea previa	Inicio	Final	Horas
1	Definición del TFG		17/09/20	23/09/20	12
1.1	Descarga de los materiales del aula		17/09/20	17/09/20	2
1.2	Lectura de los enunciados y elección	1.1	18/09/20	19/09/20	2
1.3	Lectura del plan de estudios y resto de materiales de la asignatura	1.2	20/09/20	23/09/20	8
2	Plan de trabajo	1	24/09/20	05/10/20	24
2.1	Definición del contexto y justificación, objetivos, enfoque y método	1.2	24/09/20	25/09/20	4
2.2	Borrador de la planificación	2.1	26/09/20	02/10/20	14
2.3	Corrección de la planificación	2.2	03/10/20	05/10/20	6
2.4	Entrega del plan de trabajo	2.3		**05/10/20**	
3	Estudio de mercado de los módulos Bluetooth	2	06/10/20	11/10/20	12
3.1	Búsqueda de información sobre la tecnología Bluetooth	2.4	06/10/20	08/10/20	6

3.2	Análisis de mercado de módulos Bluetooth y elección	3.1	09/10/20	11/10/20	6
4	Diseño del circuito de adaptación de temperatura	3	12/10/20	18/10/20	18
4.1	Análisis de mercado de los sensores de temperatura y elección	3.2	12/10/20	13/10/20	4
4.2	Instalación y aprendizaje del programa de simulación de circuitos	4.1	14/10/20	15/10/20	6
4.3	Diseño y simulación del circuito de adaptación de temperatura	4.2	16/10/20	18/10/20	8
5	Elección del procesador e implementación del software de control	4	19/10/20	31/10/20	28
5.1	Análisis de mercado de microprocesadores y elección	4.4	19/10/20	20/10/20	4
5.2	Instalación y aprendizaje del software de programación del procesador	5.2	21/10/20	23/10/20	8
5.4	Implementación del algoritmo en el microprocesador y simulación	5.3	24/10/20	31/10/20	16
6	PEC 2	2	06/10/20	02/11/20	20
6.1	Redacción del borrador de la memoria	2.5	06/10/20	31/10/20	14
6.2	Entrega del borrador de la memoria	6.1		31/10/20	
6.3	Corrección del borrador de la memoria	6.2	01/11/20	02/11/20	6
6.4	Entrega de la PEC 2	6.3		**02/11/20**	
7	Diseño de la fuente de alimentación	6	03/11/20	16/11/20	20
7.1	Análisis de la fuente de alimentación	6.4	03/11/20	07/11/20	10
7.2	Estudio de los consumos y la eficiencia de la fuente	7.1	08/11/20	11/11/20	4
7.3	Desarrollo final de la fuente analógica	7.2	12/11/20	16/11/20	6
8	Diseño del *layout* de la placa PDB	7	17/11/20	28/11/20	22
8.1	Instalación y aprendizaje del software de diseño de la placa PCB	7.2	17/11/20	22/11/20	10

8.2	Implementación del *layout*	8.1	23/11/20	28/11/20	12
9	PEC 3	6	03/11/20	07/12/20	20
9.1	Redacción del borrador de la memoria	7.1	03/11/20	04/12/20	14
9.2	Entrega del borrador de la memoria	9.1		04/12/20	
9.3	Corrección del borrador de la memoria	9.2	05/12/20	07/12/20	6
9.4	Entrega de la PEC 3	9.3		**07/12/20**	
10	Conclusión y ampliación del proyecto	9	29/11/20	04/12/20	6
10.1	Análisis de los objetivos del proyecto	9.4	29/11/20	29/11/20	1
10.2	Problemas surgidos y soluciones	10.1	30/11/20	01/12/20	1
10.3	Ampliaciones futuras	10.2	02/12/20	04/12/20	4
11	Finalización del proyecto TFG [12+13]	10	08/12/20	08/01/21	54
12	Versión final de la memoria	10	08/12/20	22/12/20	20
12.1	Redacción del borrador de la memoria	10.3	08/12/20	18/12/20	16
12.2	Entrega del borrador de la memoria	12.1		18/12/20	
12.3	Corrección del borrador de la memoria	12.2	19/12/20	22/12/20	4
12.4	Entrega de la memoria	11.1		**11/01/21**	
13	Elaboración de la presentación en vídeo (15 minutos)	12	23/12/20	08/01/21	34
13.1	Preparación de 15 diapositivas (una por minuto)	12.3	23/12/20	24/12/20	4
13.2	Versión preliminar del vídeo y revisión	13.1	25/12/20	04/01/21	22
13.3	Versión definitiva del vídeo	13.2	05/01/21	08/01/21	8

13,4	Entrega del vídeo de presentación	11.1		**11/01/21**	
14	Última revisión del proyecto	12,13	09/01/21	11/01/21	4
15	Defensa		20/01/20	22/01/20	6
				Horas totales	**246**

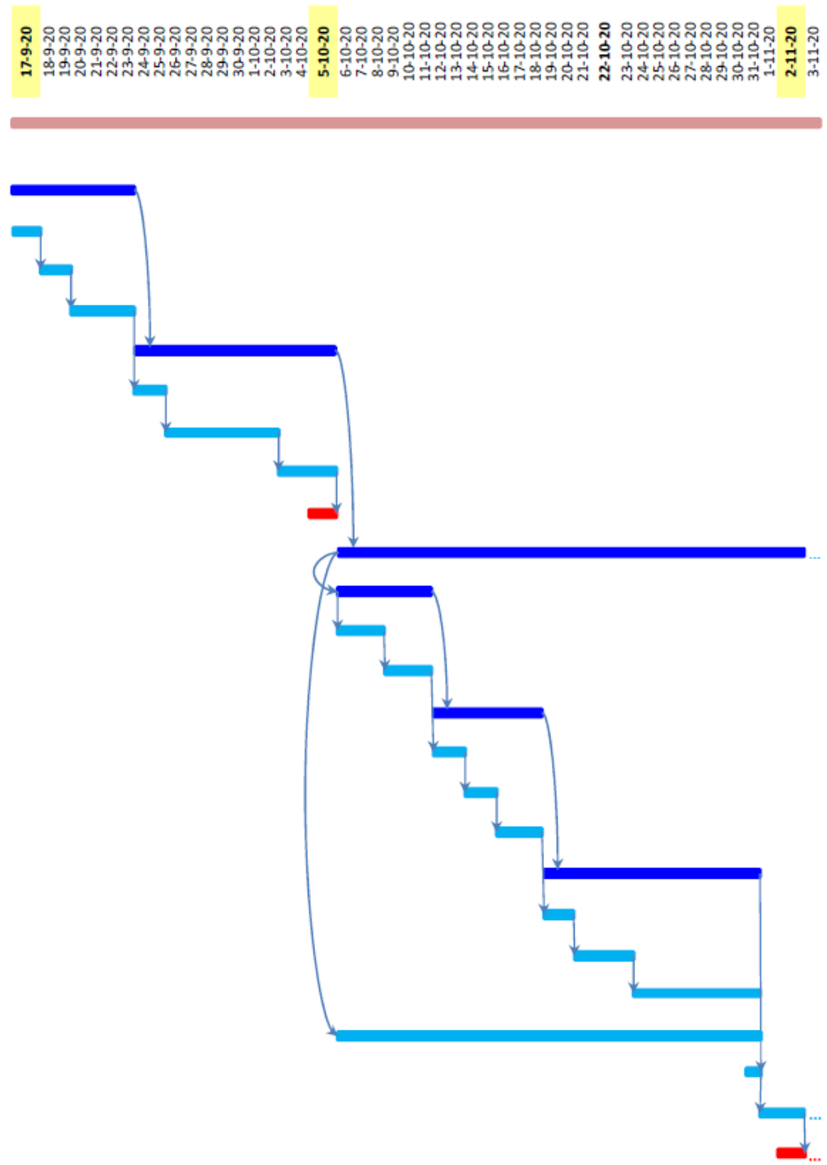
Tabla 2: Tareas del proyecto

Como se puede observar la estimación en horas se ha ajustado mucho al primer cálculo. Se prevé, asimismo, un periodo de tres días para completar una revisión final.

1.4.2 Diagrama temporal del proyecto

En este epígrafe se representa, en un eje temporal, la totalidad del proyecto descompuesto en todas las actividades elementales. Además, se indica gráficamente la vinculación entre cada tarea, así como su duración en días en función de las fechas de inicio y final de cada una de ellas. La ilustración puede ser considerada un diagrama de Gantt aplicado a la tabla de tareas del epígrafe anterior.

Nº	Definición de la tarea	Previa	Inicio	Final	Días
0	Proyecto TFG		17-9-20	11-1-21	117
1	Definición del TFG		17-9-20	23-9-20	7
1.1	Descarga de los materiales del aula		17-9-20	17-9-20	1
1.2	Lectura de los enunciados y elecció	1.1	18-9-20	19-9-20	2
1.3	Lectura del plan de estudios y resto	1.2	20-9-20	23-9-20	4
2	Plan de trabajo	1	24-9-20	5-10-20	12
2.1	Definición del contexto y justificaci	1.2	24-9-20	25-9-20	2
2.2	Borrador de la planificación	2.1	26-9-20	2-10-20	7
2.3	Corrección de la planificación	2.2	3-10-20	5-10-20	3
2.4	Entrega del plan de trabajo	2.3		5-10-20	
6	PEC 2	2	6-10-20	2-11-20	28
3	Estudio de mercado de los módulo	2	6-10-20	11-10-20	6
3.1	Búsqueda de información sobre la t	2.4	6-10-20	8-10-20	3
3.2	Análisis de mercado de módulos Bl	3.1	9-10-20	11-10-20	3
4	Diseño del circuito de adaptación (	3	12-10-20	18-10-20	7
4.1	Análisis de mercado de los sensore	3.2	12-10-20	13-10-20	2
4.2	Software de simulación de circuito	4.1	14-10-20	15-10-20	2
4.3	Diseño del circuito de adaptación T	4.2	16-10-20	18-10-20	3
5	Elección del procesador y software	4	19-10-20	31-10-20	13
5.1	Análisis de mercado de microproce	4.4	19-10-20	20-10-20	2
5.2	Software de programación del proc	5.2	21-10-20	23-10-20	3
5.4	algoritmo en el microprocesador y	5.3	24-10-20	31-10-20	8
6.1	Redacción del borrador de la memo	2.5	6-10-20	31-10-20	26
6.2	Entrega del borrador de la memori	6.1		31-10-20	
6.3	Corrección del borrador de la mem	6.2	1-11-20	2-11-20	2
6.4	Entrega de la PEC 2	6.3		2-11-20	



Nº	Definición de la tarea	Previa	Inicio	Final	Días
0	Proyecto TFG		17-9-20	11-1-21	117
6	PEC 2	2	6-10-20	2-11-20	
6.3	Corrección del borrador de la mem	6.2	1-11-20	2-11-20	
6.4	Entrega de la PEC 2	6.3		2-11-20	
9	PEC 3	6	3-11-20	7-12-20	35
7	Diseño de la fuente de alimentació	6	3-11-20	16-11-20	14
7.1	Análisis de la fuente de alimentació	6.4	3-11-20	7-11-20	5
7.2	Estudio de consumos y eficiencia d	7.1	8-11-20	11-11-20	4
7.3	Desarrollo final de la fuente analóg	7.2	12-11-20	16-11-20	5
8	Diseño del layout de la placa PDB	7	17-11-20	28-11-20	12
8.1	Software de diseño de la placa PCB	7.2	17-11-20	22-11-20	6
8.2	Implementación del layout	8.1	23-11-20	28-11-20	6
10	Conclusiones y ampliaciones del pr	9	29-11-20	4-12-20	6
10.1	Análisis de los objetivos del proyect	9.4	29-11-20	29-11-20	1
10.2	Problemas surgidos y soluciones	10.1	30-12-20	1-12-20	3
10.3	Ampliaciones futuras	10.2	2-12-20	4-12-20	3
9.1	Redacción del borrador de la memo	7.1	3-11-20	4-12-20	32
9.2	Entrega del borrador de la memori	9.1		4-12-20	
9.3	Corrección del borrador de la mem	9.2	5-12-20	7-12-20	3
9.4	Entrega de la PEC 3	9.3		7-12-20	
11	Finalización del proyecto TFG	10	8-12-20	8-1-21	32
12	Versión final de la memoria	10	8-12-20	22-12-20	15
12.1	Redacción del borrador de la memo	10.3	8-12-20	18-12-20	11
12.2	Entrega del borrador de la memori	12.1		18-12-20	
12.3	Corrección del borrador de la mem	12.2	19-12-20	22-12-20	4
13	Elaboración de la presentación en	12	23-12-20	8-1-21	17
13.1	Preparación de diapositivas	12.3	23-12-20	24-12-20	2
13.2	Realización preliminar del vídeo y r	13.1	25-12-20	4-1-21	11
13.3	Realización de la versión definitiva	13.2	5-1-21	8-1-21	4
14	Última revisión	13.3	9-1-21	11-1-21	3
12.4	Entrega de la memoria	13.1		11-1-21	
13.4	Entrega del vídeo de presentación	13.1		11-1-21	

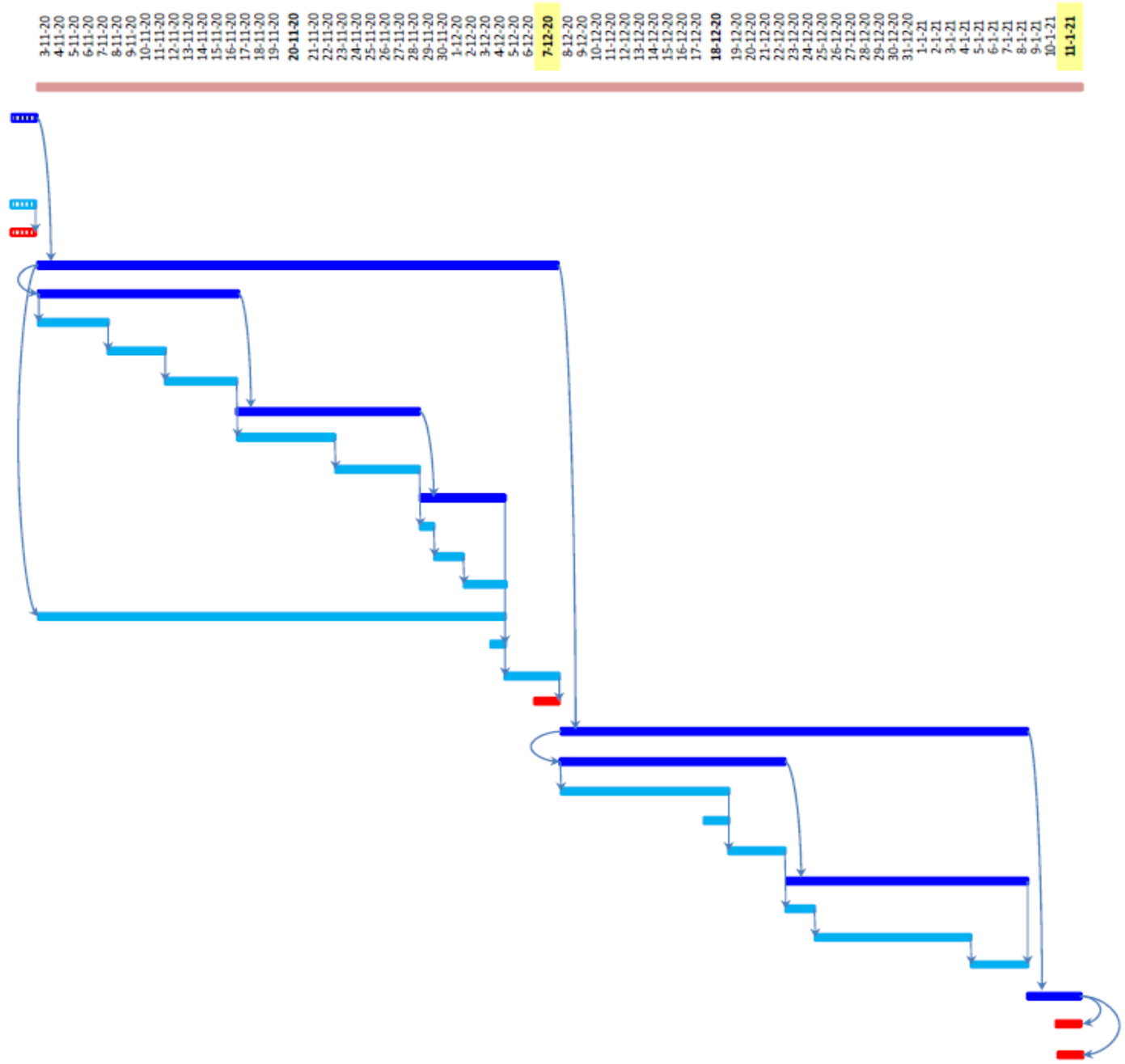


Figura 3: Diagrama de Gantt del proyecto

1.4.3 Análisis de riesgos y plan de contingencia

Existen innumerables circunstancias que pueden introducir cierta incertidumbre en el cumplimiento de la planificación. A continuación se identifican los problemas más importantes que se pueden presentar y se proponen las posibles soluciones. No se incluyen incidencias laborales ni de confinamiento debido a la COVID-19. En la docencia, el horario, una vez designado, es inamovible. Por otro lado, si tuviese lugar una situación de confinamiento sería en el domicilio y no perjudicaría el desarrollo normal del proyecto. El plan de contingencia se basa, en esencia, en contar con medidas preventivas técnicas básicas y en el adelanto de trabajo siempre que sea posible.

Riesgo	Causa	Consecuencias	Medidas
Incidencias en el puesto de trabajo	Avería, pérdida o robo del equipo Probabilidad: baja	○ Pérdida total o parcial de los archivos del TFG ○ Inutilización del puesto de trabajo ○ Pérdida de horas ○ Retraso en las entregas parciales	Preventivas: ○ Disponibilidad de un segundo equipo limpio de virus y cargado con los programas utilizados en la confección del TFG ○ Realización de copias de seguridad –una en disco externo y otra en la nube- ○ Proteger el equipo con el antivirus actualizado, no acceder a páginas comprometedoras ni descargar programas dudosos ○ Reajuste del plan para adelantar alguna actividad Correctivas: ○ Aumentar las horas de dedicación en fin de semana y días festivos. Si fuese necesario, también en días laborables ○ Retrasar la fecha de entrega de las PEC ○ Disminuir los contenidos de las PEC
	Fallo en los programas o en el SO Probabilidad: baja		
	Ataque de virus y otro software malintencionado Probabilidad: baja		

Dificultades con los contenidos abordados en el TFG	Materias nuevas o estudiadas en semestres muy anteriores Probabilidad: media	○ Pérdida de horas ○ Incumplimiento de la fecha de entrega de las PEC ○ Incapacidad para abarcar los contenidos contemplados en las PEC	Preventivas: ○ Reajustar el calendario y asignar más horas al estudio, principalmente en días no laborables ○ Reasignar tiempo de trabajo en tareas menos cargadas ○ Reasignar tiempo de trabajo de tareas que hayan resultado más sencillas de lo estimado Correctivas: ○ Dedicar más horas de trabajo sin planificar, principalmente en días no laborables ○ Retrasar la fecha de entrega de las PEC ○ Disminuir los contenidos tratados en las PEC
	Dificultades en la instalación de programas de diseño y simulación Probabilidad: baja		
	Dificultades en el aprendizaje de los programas de diseño Probabilidad: media		
	Mayor complejidad en la programación del procesador Probabilidad: media		
Incidencias médicas	Enfermedad o accidente leves propios Probabilidad: baja	○ Pérdida de horas ○ Incumplimiento de la fecha de entrega de las PEC ○ Incapacidad para abarcar los contenidos contemplados en las PEC	Preventivas: ○ Reajustar el calendario y asignar más horas al estudio, principalmente en días no laborables ○ Reasignar tiempo de trabajo en tareas menos cargadas ○ Reasignar tiempo de trabajo de tareas que hayan resultado más sencillas de lo estimado Correctivas: ○ Dedicar más horas de trabajo sin planificar, principalmente en días no laborables ○ Retrasar la fecha de entrega de las PEC ○ Disminuir los contenidos tratados en las PEC
	Enfermedad o accidente leves de hijos Probabilidad: media		
	Enfermedad o accidente leves de otro miembro de la familia Probabilidad: baja		
	Enfermedad o accidente graves de cualquier integrante de la familia	Se compromete la entrega del TFG	No habría ninguna acción preventiva, sino que se tendría que cancelar el proyecto en su totalidad

Tabla 3: Plan de contingencia

1.5 Breve sumario de productos obtenidos

Los productos obtenidos al final del proyecto serán:

- La memoria del TFG de 60 páginas como máximo.
- Un vídeo de presentación de 15 minutos con 25 diapositivas (20 minutos como máximo).
- Diseño del circuito electrónico de medición y adaptación de la señal de temperatura.
- Diseño del programa de control en MPLAB de Microchip.
- Diseño de una fuente de alimentación óptima.
- Diseño del *layout* de la placa PCB del equipo electrónico supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

El resto de los capítulos se distribuyen de la siguiente forma:

Capítulo 2: Módulo Bluetooth:

- Introducción a la tecnología Bluetooth
- Estudio de mercado de los módulos Bluetooth existentes
- Elección del módulo idóneo para las características del diseño

Capítulo 3: Sensor de temperatura, circuito de adaptación:

- Análisis de los sensores de temperatura existentes y elección del más adecuado
- Diseño del circuito electrónico de medición y adaptación al microprocesador de la señal que modula la temperatura
- Estudio de las alternativas y justificación del diseño elegido

Capítulo 4: Microprocesador, software de control y simulación:

- Elección del microprocesador
- Implementación del algoritmo en el procesador según el comportamiento del equipo descrito en los capítulos anteriores
- Validación de los programas mediante simulaciones

Capítulo 5: Fuente de alimentación, adaptación, consumo y eficiencia:

- Diseño de los circuitos de alimentación a todas las partes del circuito
- Conseguir la fuente más eficiente posible para reducir el consumo eléctrico al máximo

Capítulo 6: *Layouts* de la placa de circuito impreso y valoración económica del equipo:

- Diseño del *layout* de la placa del circuito con todos los elementos diseñados en las etapas anteriores y que forman el equipo.
- Realización de un presupuesto de construcción del equipo electrónico de monitorización de temperatura.

Capítulo 7: Conclusiones, objetivos, problemas, soluciones y ampliaciones propuestas:

- Reflexión sobre los problemas surgidos y las soluciones aportadas
- Observaciones sobre las lecciones aprendidas
- Propuestas de ampliaciones para el futuro

2. Módulo Bluetooth

El equipo electrónico que se va a diseñar permite compartir los datos por vía Bluetooth. Por ello, en primer lugar, se describe brevemente esta tecnología sin hilos. Posteriormente, se realiza un estudio de mercado sobre las diferentes opciones de módulos Bluetooth existentes en la industria electrónica. Finalmente, se elegirá el módulo más adecuado para el diseño y se especifican sus características principales.

2.1 Introducción a la tecnología Bluetooth

Ericsson Mobile Communications inició en 1994 un estudio para investigar una interfaz de radio de baja potencia y bajo costo entre los teléfonos móviles y sus accesorios. Después de comprobarse la utilidad del nuevo sistema, en 1998, cinco empresas, Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel forman el Grupo de Interés Especial (SIG, del inglés Special Interst Group) con la intención de establecer una especificación global para conectividad sin hilos de corto alcance. El grupo Bluetooth SIG desarrolla la especificación Bluetooth que permite aumentar la efectividad de las comunicaciones en distancias cortas, tanto en el área de trabajo como en los espacios públicos. El nombre con el que se bautiza a la nueva tecnología no es casual. A modo de curiosidad se plasma la siguiente cita:

> "Bluetooth debe su nombre al rey danés Harald Blåtand (s. X), Harold Bluetooth en inglés, que unificó Dinamarca y Noruega, tal como hace *Bluetooth* con los protocolos de comunicaciones". [1]

La tecnología Bluetooth trabaja en la banda mundial sin licencia ISM (Industrial Scientific and Medical) en torno a los 2,4 GHz – de 2,402 a 2,480 GHz –, perteneciente a la banda UHF – de 300 MHz a 3 GHz –. Funciona con 79 canales de 1 MHz.

Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance sin necesidad de estar alineados y con visión directa. Estos dispositivos se pueden clasificar en función de su potencia de transmisión y alcance.

	Potencia máxima permitida		Alcance aproximado (metros)
	mW	dBm	
Clase 1	100	20	± 100
Clase 2	2,5	4	5 a 10
Clase 3	1	0	± 1
Clase 4	0,5	-3	± 0,5

Tabla 4: Potencia y alcance de dispositivos Bluetooth

Generalmente, la cobertura real de un dispositivo de clase 3 se mejora cuando se conecta a un transceptor de clase 2. Esto se debe a la mayor sensibilidad y potencia del dispositivo de clase 2. Es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de clase 2 permite que señal sea recibida con energía suficiente en el de clase 3, mientras que, la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 2 puede recibir la señal del de clase 3 aunque es más débil.

La arquitectura del estándar Bluetooth es sencilla porque consta únicamente de dispositivos llamados maestros (*masters*) o esclavos (*slaves*) en función de si son controlados por otros dispositivos o de si son ellos los que controlan a otros. Una picorred (*piconet*) está formada por un dispositivo que ejerce la función de maestro y un máximo de siete dispositivos esclavos activos, pero puede tener hasta 255 esclavos en estado de espera o aparcado (*parked*). Cada picorred solo puede tener un maestro y, a su vez, el maestro puede ser esclavo de otra picorred, formando, de esta forma, una *scatternet*. Los papeles de maestro/esclavo pueden cambiar dinámicamente en cada picorred.

Como se mencionaba anteriormente, Bluetooth trabaja con 79 canales de 1 MHz – de 2,402 a 2,480 GHz – cambiando constantemente de portadora. Cada ranura dura 625 µs, por lo que el cambio de portadora se produce 1600 veces por segundo. El maestro comunica a los esclavos de su picorred en qué frecuencias emite y recibe. Por este motivo pueden coexistir varias picorredes en un mismo recinto y si hay coincidencias se solicita retransmisión. Para facilitar la comunicación, Bluetooth obliga a que el maestro transmita en las ranuras pares incluyendo en la cabecera la dirección del dispositivo de destino.

Debido a que puede haber distintas necesidades de transmisión, se definen dos tipos de enlace:

- Síncrono (SCO)
    - Simétrico (pensado para voz).
    - Reserva de ranura a intervalos fijos (64 kbps/ranura).
    - Un maestro puede sostener tres SCO con los esclavos. Un esclavo puede soportar tres SCO del mismo maestro o dos SCO de maestros diferentes.

- Asíncrono (ACL)
    - Asimétrico (pensado para datos) y simétrico.
    - El maestro asigna las ranuras.
    - Entre un maestro y un esclavo solo se puede establecer un ACL.

Existen muchas versiones del estándar Bluetooth pero la última que sale al mercado ofrece compatibilidad con todas las versiones anteriores. A día de hoy, la última versión es *Bluetooth v5.2* y se presentó el seis de enero de 2020. La siguiente tabla ilustra de modo esquemático la evolución de esta tecnología.

Año	Versión	Ancho de banda
2003	1.2	1 Mbit/s
2004	2.0 + EDR	3 Mbit/s
2009	3.0 + HS	24 Mbit/s
2010	4.0	32 Mbit/s
2017	5.0	50 Mbit/s

Tabla 5: Evolución de la tecnología Bluetooth

El estándar Bluetooth, además, está definido como un protocolo de arquitectura de capa que está formado por protocolos centrales, de reemplazo de cable, de control de telefonía y adoptados. A continuación se relacionan los más importantes.

Protocolos centrales que, como mínimo, toda pila de protocolos de Bluetooth debe tener los tres siguientes:

- LMP (*Link Management Protocol*): protocolo de control de enlace.
- L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol*): protocolo de control y adaptación del enlace lógico.
- SDP (*Service Discovery Protocol*): protocolo de descubrimiento de servicio.

Protocolos de reemplazo de cable, como el protocolo RFCOM (*Radio Frequency Communications*); protocolos de control de telefonía, como el protocolo TCS (*Telephony Control Protocol*); y protocolos adoptados, como el protocolo PPP (*Point to Point Protocol*) y el TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*).

Además, este estándar define varios perfiles, considerando un perfil como la especificación de una interfaz de alto nivel para su utilización entre dispositivos Bluetooth. Para utilizar una determinada tecnología, un dispositivo debe soportar el perfil requerido por esa misma tecnología. Así, los perfiles Bluetooth más importantes son:

- GAP *(Generic Access Profile)*: Acceso genérico. Es la base para los demás perfiles.
- GOEP *(Generic Object Exchange Profile)*: Intercambio genérico de objetos. Sirve de base para otros perfiles de datos.
- FTP *(File Transfer Protocol)*: Transferencia de ficheros.
- DID *(Device ID Profile)*: Identificación de dispositivo.
- A2DP *(Advanced Audio Distribution Profile)*: distribución de audio avanzada.
- AVRCP *(Audio/Video Remote Control Profile)*: Control remoto de audio/vídeo.
- HFP *(Hands-Free Profile)*: Manos libres.
- HDP *(Health Device Profile)*: Transmisión y recepción de datos médicos.

- SPP *(Serial Port Profile)*: Puerto serie.
- SDAP *(Service Discovery Profile)*: descubrimiento de servicios.
- SYNCH *(Synchronisation Profile)*: sincronización.
- PAN *(Personal Area Networking Profil)*: redes de área personal.
- SAP *(SIM Access Profile)*: Acceso a SIM.
- HID *(Human Interface Device Profile)*: Da soporte a dispositivos como ratones, teclados, etc.

2.2 Análisis de mercado de los módulos Bluetooth y elección

Inicialmente, para centrar la búsqueda, se tienen en cuenta las especificaciones del enunciado. El módulo Bluetooth (normalmente con un conector) es un módulo que contiene toda la parte de Bluetooth y que se comunica con el microprocesador por un bus electrónico estándar, como por ejemplo una línea serie, I2C, SPI,… Se da preferencia a los módulos en formato OEM o módulo y no como producto cerrado.

La fuente de alimentación del equipo es de 24 Vcc. Este dato sugiere que, con mucha probabilidad, el dispositivo será montado en un entorno industrial, médico o doméstico; incluso podría montarse en camiones o autobuses, pues un voltaje de 24 voltios en continua es muy utilizado en estos vehículos.

En definitiva, el equipo se diseñará para ser instalado en un entorno industrial, donde las temperaturas de trabajo pueden ser extremas: desde los -25º C de una cámara frigorífica, hasta más de 500 ºC del hogar de una caldera. Sin embargo, el rango de medida requerido para el sensor es de 20 a 120 ºC; lo que sugiere, por ejemplo, la monitorización de un secadero de madera con una temperatura de trabajo de 75º C o de una conducción de vapor sobrecalentado a 120 ºC como máximo.

Otro aspecto importante del diseño es el alcance de la señal porque, en general, en las fábricas hay grandes distancias entre las unidades de producción y las salas de control en donde se centralizan los datos. Esta señal puede, también, ser recibida en algún terminal móvil a disposición de los técnicos de mantenimiento. Por ello, se opta por un módulo de máximo alcance y máxima potencia de salida de: un módulo clase 1.

No se contempla el consumo de energía del módulo como un factor decisivo, aunque un consumo ajustado sería óptimo. Tampoco parece elevada la cantidad de datos a transmitir, por lo que un ancho de banda entre 1 y 3 Mbps bastaría. Una versión 2 sería suficiente para cubrir estas características.

Asimismo, la comunicación entre el módulo Bluetooth y el procesador será por un bus estándar. Se considera que el módulo debe tener un puerto serie o UART *(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)* y admitir el perfil SPP de puerto serie.

Finalmente, se realiza una búsqueda por tres mayoristas de componentes electrónicos - CETRONIC, RS Components y MOUSER ELECTRONICS – dando prioridad a los componentes del fabricante Microchip (por compatibilidad con el microprocesador) que cumplan con los requisitos desgranados en los párrafos anteriores.

Concretamente, en el mayorista MOUSER ELECTRONICS se localiza el módulo RN41 de clase 1, de aplicación para la eliminación de cableado en transmisión de datos, en sensores y controles industriales, sistemas de medida y monitorización y equipos médicos, entre otros.

Figura 4: Módulo Bluetooth RN-41 de Clase 1

Para el equipo se utilizará el módulo RN41XV basado en el RN41. A continuación se describen las principales características:

- Fabricante: Microchip
- Versión de Bluetooth: 2.1 + EDR
- Compatible con las versiones anteriores 2.0, 1.2 y 1.1
- Clase 1, alcance: hasta 100 metros
- Potencia de salida máxima: 16 dBm
- Comunicación host: serie UART con control de flujo RTS/CTS
- Interfaces de bus admitidas: UART, USB
- Soporta los perfiles SPP y HID
- Soporta los protocolos GAP, SDP, RFCOMM Y L2CAP
- Sensibilidad del receptor: -80 dBm
- Voltaje operativo: 3,3 Vcc [3,0 a 3,6 Vcc]
- Ancho de banda 3 Mbps
- Antena integrada, modulación FHSS, GFSK
- Rango de temperaturas de funcionamiento: de -40º C a +85 ºC
- Compatible con las familias (PIC16F, PIC18F, PIC24F/H, dsPIC33 y PIC32) de microcontroladores de Microchip.

3. Sensor de temperatura y circuito de adaptación

Durante este capítulo se realizará una breve descripción de los distintos tipos de sensores de temperatura que existen en el mercado electrónico, se elegirá el más apropiado y se diseñará el circuito que adaptará la señal eléctrica proporcionada por la sonda en la entrada del conversor analógico/digital.

3.1 Introducción a los sensores de temperatura

Posiblemente sea la temperatura el parámetro físico más medido mediante una aplicación electrónica en los procesos industriales e incluso en muchas situaciones cotidianas y domésticas. Existen numerosos efectos físicos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

a. La variación en volumen o en estado de los cuerpos: termómetro.
b. La variación de la resistencia de un conductor: sonda de resistencia.
c. La variación de la resistencia de un semiconductor: termistor.
d. La fuerza electromotriz generada en la unión de dos metales distintos: termopar.
e. La diferencia de tensión base-emisor de uno o más pares de transistores o la corriente que atraviesa un diodo: sensor de semiconductor.
f. La intensidad de la radiación emitida por un cuerpo: pirómetro de radiación.
g. Otros fenómenos de laboratorio: velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, termográficos, acústicos, etc.

En un primer análisis puede deducirse que se adaptan mejor al diseño los sensores de tipo eléctrico: la sonda de resistencia, el termistor, el termopar y el sensor de semiconductor. A continuación se describen sus características principales:

- **Sonda de resistencia o RTD *(Resistance Temperature Detector)*:** el elemento consiste, generalmente, en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. La medición se basa en el aumento de la resistencia eléctrica del metal conductor al aumentar la temperatura. La variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura. En esos intervalos la resistencia puede ser calculada mediante la siguiente función polinómica de primer grado:

Figura 5: PT100 [4]

(1) $R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$, donde:

- ***R_0*** es la resistencia a la T.ª de referencia T_0
- ***ΔT*** es la desviación de T.ª respecto a T_0 ($\Delta T = T - T_0$)
- ***α*** es el coeficiente de T.ª del conductor a 0 ºC. Interesa que sea un valor grande y constante con la T.ª

Los metales más empleados para la construcción de los sensores RTD son el cobre, el níquel y el platino. La tabla 6 ilustra sus propiedades:

Metal	Rango útil (ºC)	Resitencia básica	Sensibilidad (Ω/ºC)	Características principales
Cobre	-100 a 260	10 Ω a 25 ºC	0.04	Buena linealidad Baja sensibilidad
Níquel	-100 a 260	100 Ω a 0 ºC	0,62	Sensibilidad alta Poca linealidad Bajo coste
Platino	-260 a 850	100 Ω a 0 ºC	0,39	Rango amplio Buena sensibilidad Buena linealidad Alto coste

Tabla 6: Propiedades de las sondas de resistencia

- **Termistor:** son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia que puede ser positivo o negativo. Si el coeficiente es negativo se denominan NTC *(Negative Temperature Coefficient)* – los más utilizados -, mientras que si es positivo se denominan PTC *(Positive Temperature Coefficient)*. El fundamento de los termistores reside en que la resistencia del semiconductor está vinculada a los portadores mayoritarios, cuyo número depende de la temperatura. Por ejemplo, en los NTC, al aumentar la temperatura lo hace también el número de portadores reduciéndose la resistencia. Esta relación viene modelizada en la siguiente expresión exponencial:

Figura 6: Termistor NTC [5]

(2) $R_t = R_0 e^{\beta\left(\frac{1}{T_t}-\frac{1}{T_0}\right)}$, donde:

- ***R_t* [Ω]** es la resistencia a la Tª absoluta T_t
- ***R_0* [Ω]** es la resistencia a la Tª absoluta de referencia T_0
- ***β*** es un coeficiente que depende de la temperatura

En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. En un margen reducido (50 ºC), el valor

de β se considera constante e independiente de la temperatura, con lo que se obtiene la siguiente linealización:

$$(3)\quad Ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right) = \beta\left(\frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_0}\right)$$

- **Termopar o termocupla:** Consta, básicamente, de un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes unidos en sus extremos –unión de medida y unión de referencia- y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz.
  El principio de funcionamiento se basa en tres efectos termoeléctricos combinados: el efecto Seebeck, el efecto Peltier y el efecto Thomson.

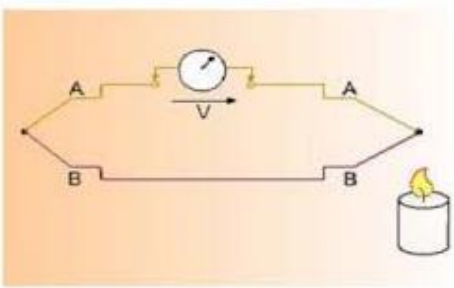


Figura 7: Esquema termopar [6]

En la figura se representa un termopar constituido por dos metales diferentes A y B. Cuando las uniones están a distinta temperatura se genera una tensión V, que se corresponde con las caídas de potencial en cada una de las uniones.

En definitiva, el termopar es un dispositivo de medida diferencial. Se necesita una temperatura de referencia que sea conocida para una de las uniones, así la temperatura de la otra unión podría calcularse a partir de la tensión de salida.
Existen diferentes combinaciones de metales que pueden ser utilizadas en un termopar. El más común de todos es el de tipo K formado por Ni-Cr y Ni-Al. Sin embargo, pueden encontrarse termopares tipo T, R, S, B, G, C o D, cada uno presenta un rango de temperaturas y un entorno de trabajo diferentes.

Figura 8: Termopar tipo K [7]

- **Sensor de semiconductor:** Un simple transistor bipolar puede utilizarse de sensor de temperatura, ya que la tensión base-emisor es directamente proporcional a la temperatura:

$$(4)\quad V_{BE} = V_T \cdot Ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) \qquad V_T = \frac{k \cdot T}{q}$$, donde:

  - V_T es el voltaje térmico (26 mV a T.ª amb. ≈ 300 ºK)
  - T es la temperatura
  - I_C es la intensidad del colector
  - I_S es la intensidad de saturación

Esta expresión sugiere que la tensión base-emisor es directamente proporcional a la temperatura pero, realmente, no lo es porque la corriente de saturación depende de la temperatura de forma no lineal. Sin embargo, si se dispone de un par diferencial en el que la intensidad de saturación sea idéntica para ambos transistores y la relación entre las intensidades de colector sea conocida se soluciona la no linealidad.

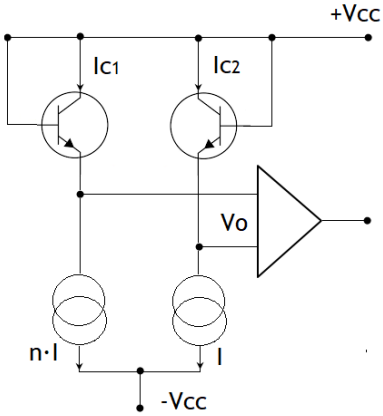


Figura 9: Par diferencial

Un par diferencial comercial usual con la relación $I_{C1} = 2 \cdot I_{C2}$. Presenta una sensibilidad de 60 µV/k y puede operar entre -50 ºC y 120 ºC, con un error inferior a 1 ºC. En la figura 9 se representa un esquema del circuito de un par diferencial de transistores como sensor de temperatura.

El diodo es otro elemento semiconductor que puede ser utilizado como sensor de temperatura, pues la corriente eléctrica que recorre cualquier diodo varía en función de la temperatura del elemento de acuerdo a la relación V/I del propio diodo. El sensor de temperatura semiconductor puede ser analógico o digital proporcionando una variación de tensión proporcional al cambio de temperatura. Por ejemplo, un sensor de temperatura de silicio como el LM35 es un sistema integrado que contiene un procesador de señal que compensa las no linealidades del propio circuito integrado. El LM35 es un sensor de

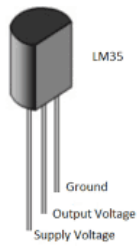


Figura 10: sensor LM35 [8]

temperatura con una precisión calibrada de 1 °C. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10 mV. Opera de 4 V a 30 V.

3.2 Análisis de mercado de los sensores de temperatura y elección

Para la elección del sensor que se utilizará hay que tener en cuenta las exigencias del diseño. El sensor no irá montado en la propia placa, sino que trabajará como una sonda externa a cierta distancia del equipo. Este hecho provoca que se descarte del sensor semiconductor, especialmente el LM35 a pesar de ofrecer otras buenas prestaciones.

Los termistores NTC o PTC pueden utilizarse como sondas de temperatura y presentan una gran sensibilidad a las variaciones de temperatura pero tienen el inconveniente de que el rango de temperaturas donde trabajan de forma lineal es muy estrecho, no superior a 50 ºC, y necesitarían de un circuito acondicionador de la señal.

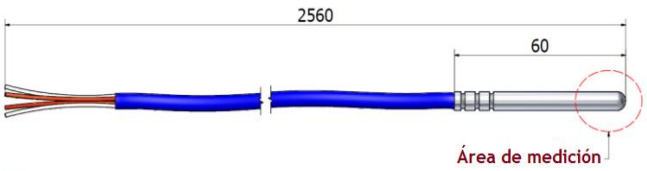
Los termopares son realmente útiles, resistentes en condiciones adversas y son lineales en un rango amplio. No obstante, son sensores que necesitan una temperatura de referencia, generalmente empleando otro sensor calibrado como el LM35 o un circuito integrado que realiza la compensación. Motivo por el que es descartado.

Las sondas de resistencia basadas en níquel poseen una alta sensibilidad, pero baja linealidad. Al contrario que la basada en cobre, que es muy lineal, pero de baja sensibilidad, Ambas con un rango estrecho pero suficiente para el diseño. Sin embargo, la RTD basada en platino ofrece alta sensibilidad, buena linealidad y rango amplio de temperaturas. En definitiva, a pesar de su alto costo, la sonda RTD basada en platino es la idónea para el diseño: bien una PT100, o bien una PT1000.

Una sonda PT1000 se adapta mejor en configuraciones de dos hilos, porque la mayor resistencia nominal del sensor compensa los errores sumados debidos a las resistencias de los conductores. Además, requiere una corriente eléctrica mucho menor, con lo que se limita en gran medida el error debido al autocalentamiento.

De todas formas, un sensor PT100 con la configuración de tres o cuatro hilos soluciona muy bien el problema de la resistencia del cableado, siendo los más apropiados para distancias largas. Además, un PT100 de cuatro hilos puede conectarse en la configuración de dos, tres o cuatro cables.

En definitiva, el sensor elegido para el equipo electrónico es una sonda PT100 RS PRO Clase A de 2,5 metros a cuatro hilos.



RESISTANCE V TEMPERATURE AND TOLERANCES FOR PLATINUM RESISTORS TO IEC 751(1995)/BS EN60751(1996)

Temp	Resistance	Tolerance			
		Class A		Class B	
(°C)	(Ω)	(±°C)	(±Ω)	(±°C)	(±Ω)
-200	18.52	0.55	0.24	1.3	0.56
-100	60.26	0.35	0.14	0.8	0.32
0	100.00	0.15	0.06	0.3	0.12
100	138.51	0.35	0.13	0.8	0.30
200	175.86	0.55	0.20	1.3	0.48
300	212.05	0.75	0.27	1.8	0.64
400	247.09	0.95	0.33	2.3	0.79
500	280.98	1.15	0.38	2.8	0.93
600	313.71	1.35	0.43	3.3	1.06
650	329.64	1.45	0.46	3.6	1.13
700	345.28	–	–	3.8	1.17
800	375.70	–	–	4.3	1.28
850	390.48	–	–	4.6	1.34

Figura 11: Sonda PT100 RS PRO 2,5m [9], [10] y [11]

Se opta por este modelo porque presenta unas características idóneas para el diseño de un equipo electrónico en entornos industriales:

- Es un elemento de detección de temperatura de alta estabilidad con una gran precisión/tolerancia de Clase A conforme a IEC 60751. El requerimiento es de una precisión mínimo de 1 ºC. Según la tabla de tolerancias, un PT100 Clase B tendría comprometida la precisión para la temperatura de 120 ºC.
- El rango de medida cubre de -20 ºC hasta +200 ºC, que da cierto margen respecto a las necesidades de diseño.
- La funda rígida de acero inoxidable 316 resistente a la corrosión y aislamiento de caucho de silicona que resiste altas temperaturas y es resistente a aceites y disolventes.

3.3 Diseño del circuito de adaptación

La hoja de características del sensor seleccionado – PT100 RS PRO – especifica que su resistencia interna a 0 ºC es de 100 ohmios, y que su resistencia eléctrica cambia por una relación establecida, denominada coeficiente de temperatura.
Para el platino, este coeficiente es de 0,00385 ohmio/ohmio/ºC. Esto significa que, para una resistencia de 100 ohmios, el aumento de resistencia por grado Celsius de temperatura es de 3,85 ohmios. Es decir, para calcular la temperatura puede utilizarse la ecuación lineal mencionada anteriormente:

$$(5)\quad R(T) = 100 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(T - T_0\right)\right)\ [\Omega] \qquad R(T) = 100 \cdot \left(1 + 0{,}00385 \cdot \left(T - 0^{o}\right)\right)\ [\Omega]$$

El rango solicitado es de 20 ºC a 120 ºC. Se considera que ya se contemplan los márgenes necesarios, así que se calculan los valores de resistencia para ambos extremos del rango de temperatura:

$$(6)\qquad R(20) = 107{,}7\ \Omega \qquad R(120) = 146{,}2\ \Omega$$

Ambos valores pueden implementarse con resistencias comerciales:

- Se logran 107,7 Ω con una resistencia de 100 Ω, una de 4,7 Ω y tres de 1,0 Ω en serie.
- Para conseguir 146,2 Ω pueden colocarse en serie una resistencia de 120 Ω, dos de 12,0 Ω y una de 2,2 Ω.

Para averiguar el rango de variación de la tensión de salida del sensor se realiza la simulación del puente de Wheatstone.

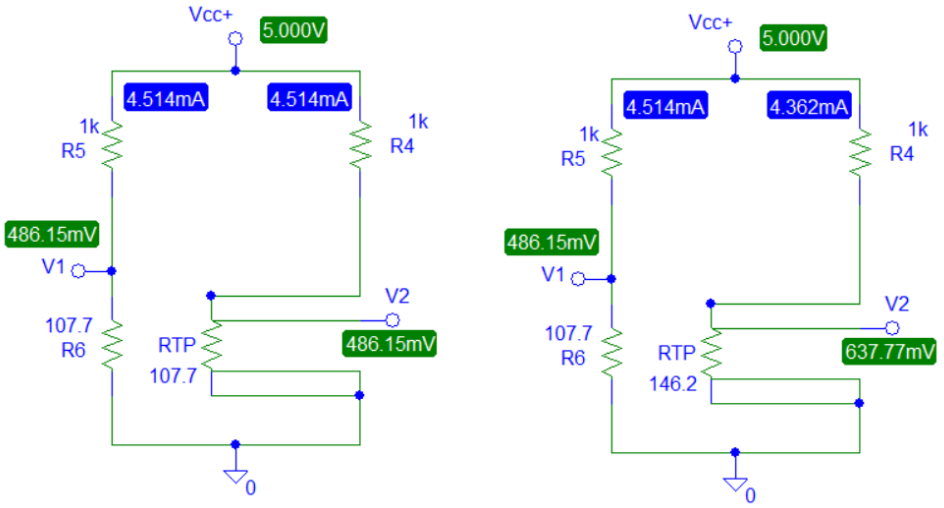


Figura 12: Puente de Wheatstone

Puede comprobarse que para una resistencia interna del sensor de 107,7 ohmios la tensión entre los puntos A y B del circuito es cero – nivel que se corresponde con una temperatura de 20 ºC -. Cuando la resistencia interna del sensor es de 146,2 ohmios la tensión entre los puntos 1 y 2 es:

$$(7) \qquad V_2 - V_1 = 637,77 - 486,15 = 151,62\ mV$$

Se pretende que la salida del circuito de adaptación permanezca dentro de los límites que marcan las tensiones de referencia típicas:

$$(8) \qquad Vref+ = 3,30\ voltios \quad \text{y} \quad Vref- = 0,0\ voltios$$

El motivo es la racionalización del número de componentes. Se pretende aprovechar la misma fuente de alimentación para el módulo Bluetooth y para modular la salida del sensor de temperatura.

Por tanto, el valor mínimo de temperatura (20 ºC) se asigna a cero voltios y el valor máximo de temperatura (120 ºC) se asigna a 3,30 voltios. La intensidad que recorre el sensor es un valor bajo, poco más de 4 mA que, aparte de mantener el consumo reducido, apenas desvirtuará la medición por autocalentamiento de la resistencia de la sonda. El siguiente paso es transformar linealmente la salida:

Del rango [0→151,62 mV] al rango [0 → 3,30 V]

Se realizará mediante una amplificación. Para lograr este propósito se necesita implementar un amplificador de instrumentación con dos etapas que proporciona una alta impedancia de entrada, una alta relación de rechazo del modo común (CMRR) y una ganancia diferencial ajustable con una única resistencia.

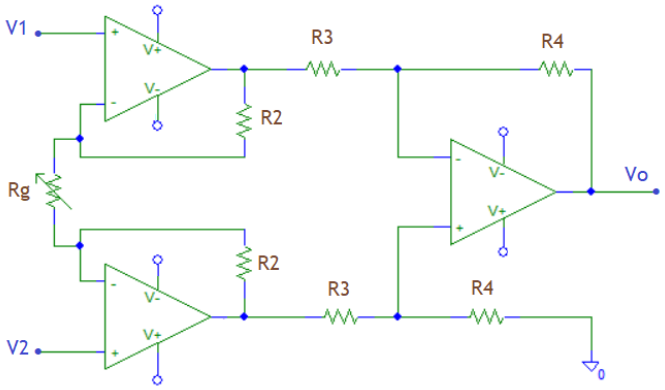


Figura 13: Amplificador de instrumentación

El análisis del circuito determina que la tensión de salida es proporcional a la diferencia de tensión entre los terminales de entrada:

$$(9) \quad V_0 = (V_2 - V_1) \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{R_2}{Rg}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

Utilizando este circuito también se asegura que la ganancia podrá ser siempre justada mediante la resistencia variable, ya que es muy complicado asegurar la igualdad entre resistencias, así como sus valores reales. Una vez realizados los calibrados, es factible sustituir la resistencia variable por una asociación fija de resistencias que proporcionen el valor calculado.

La ganancia que se necesita se calcula dividiendo el valor máximo de los dos rangos:

(10) $$G = \frac{3,30}{151,62 \cdot 10^{-3}} \qquad G = 21,765 \qquad G = 13,377\ dB$$

Para obtener esta ganancia se utilizará el circuito anterior con los siguientes valores:

(11) $$R4 = 50\ k\Omega, \quad R3 = 10\ k\Omega, \quad R2 = 8k\Omega$$

Sustituyendo en la ecuación (6) se obtiene:

(12) $$Rg = \frac{80k}{G-5} \qquad Rg = 4771,86\ \Omega$$

Se realiza la simulación del circuito con un valor para la resistencia variable de 4772 ohmios y se obtiene tensión amplificada de salida de 3,296 voltios, cuando la entrada es la máxima. Si la entrada es la tensión mínima, la salida es de -1,945 milivoltios. Se ajusta la resistencia a 4765 ohmios para que la salida sea de 3,30 voltios.

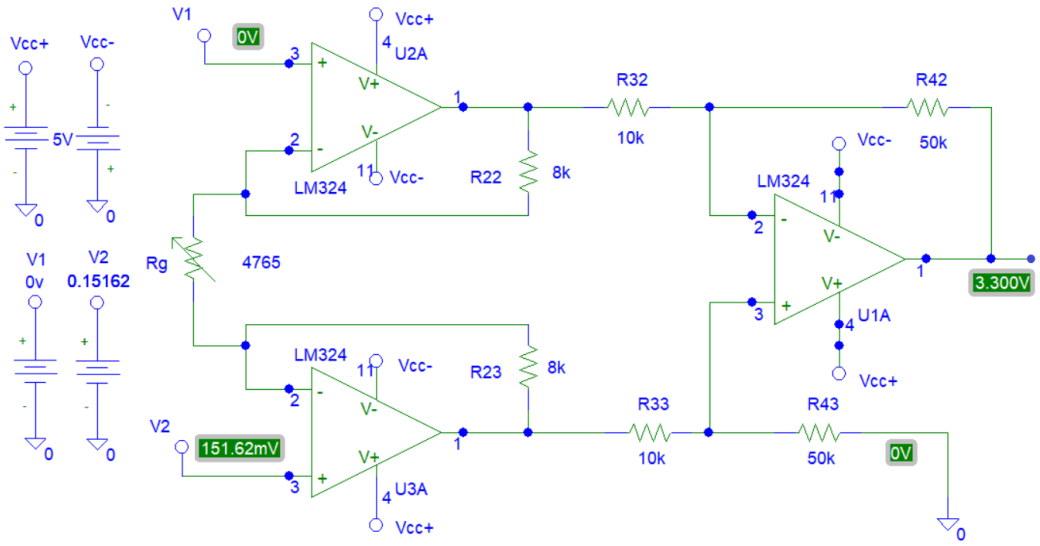


Figura 14: Simulación del amplificador de instrumentación

La simulación del circuito completo confirma las expectativas. Cuando la temperatura de la sonda es de 20 ºC, la salida del circuito es inferior a dos milivoltios (asumible a cero voltios). Cuando la temperatura de la sonda es de 120 ºC, la salida es de 3,30 voltios.

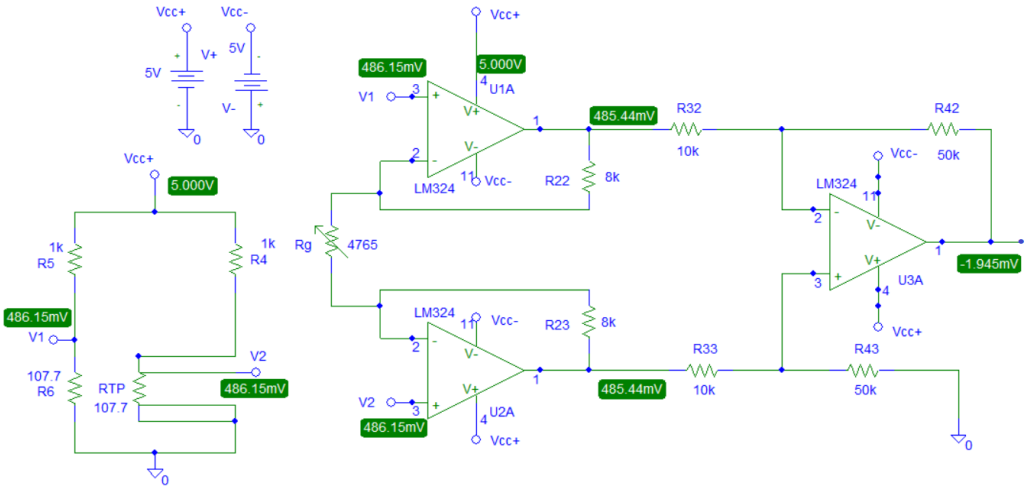


Figura 15: Simulación del circuito completo para 20 ºC

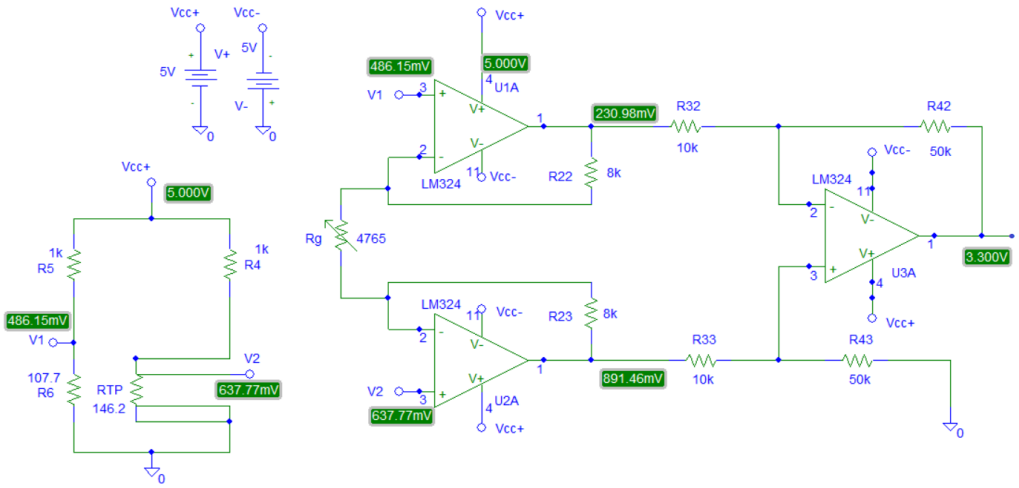


Figura 16: Simulación del circuito completo para 120 ºC

A partir de este punto ya está disponible una señal analógica de tensión continua entre cero y 3,30 voltios proporcional a la temperatura de la sonda en el intervalo de 20 a 120 ºC. Un ºC equivale a 33 mV. Para la implementación del circuito puede utilizarse un integrado LM324K con cuatro AO de Texas Instruments.

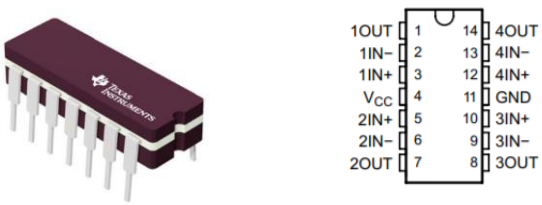


Figura 17: Circuito integrado LM324K

También es posible utilizar el amplificador de instrumentación INA122 de Texas Instruments que ya implementa en un solo componente el circuito anterior. En este caso el valor de la resistencia es: $R_G = 11.930\ \Omega$.

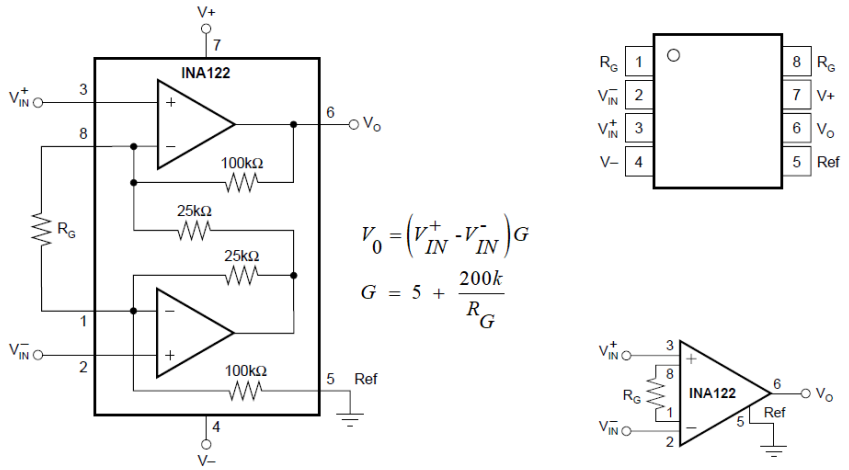


Figura 18: Esquema del amplificador INA122

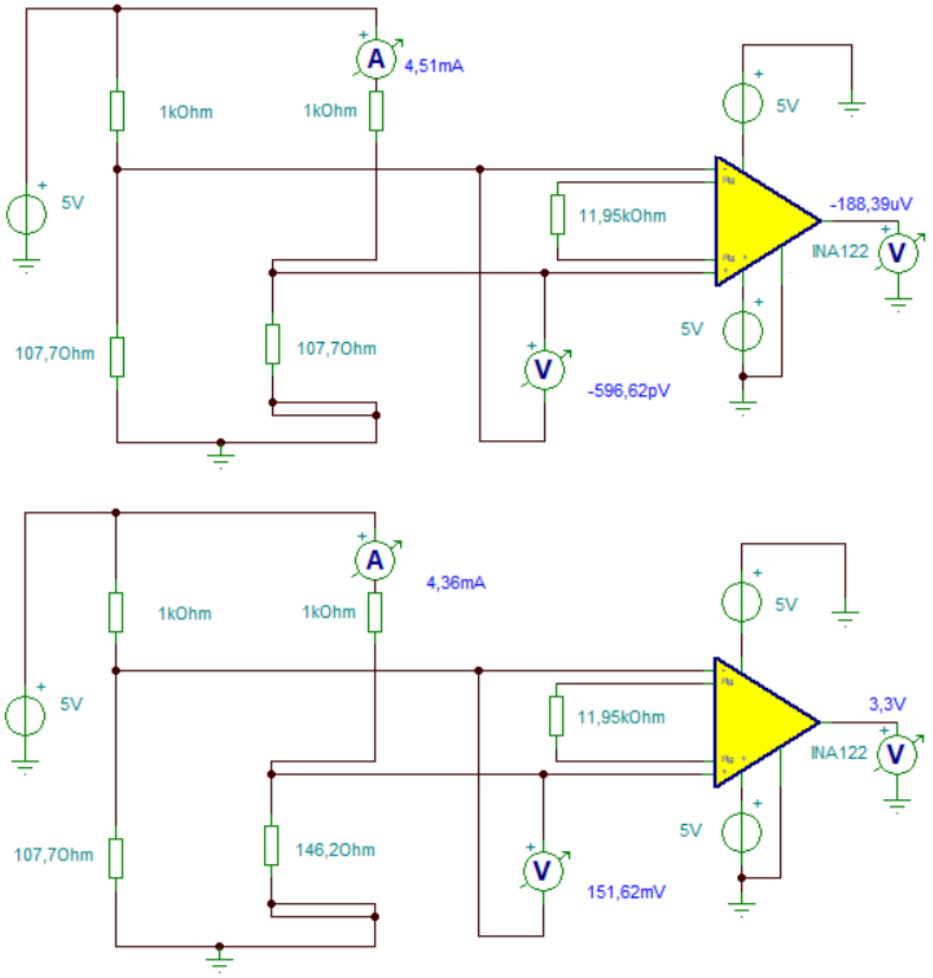


Figura 19: Simulación del circuito con el componente INA122

4. Microcontrolador

A lo largo de este capítulo se describirá el componente más importante del equipo electrónico que se pretende desarrollar en el proyecto, el microcontrolador, ya que se encargará de convertir la señal analógica en digital y de realizar la comunicación con el módulo Bluetooth.

4.1 Introducción a los microcontroladores

El microcontrolador incluye en su interior las tres unidades funcionales fundamentales de un computador: la CPU (unidad central de procesamiento), la memoria y los periféricos de entrada/salida. Poseen dos tipos de memoria bien definidas: memoria de datos – típicamente SRAM – y memoria de código - ROM, PROM, EEPROM, flash y otros tipos no volátiles –.

Existen dos arquitecturas básicas: Von Neuman y Harvard. Se diferencian en cómo realizan la conexión entre la memoria y el procesador, y en el número de buses que cada una necesita. En la primera, los buses para acceder a ambos tipos de memoria son los mismos, del procesador solo sales el bus de datos, el bus de direcciones y el bus de control. Es más utilizada en ordenadores personales.

La segunda es más utilizada en supercomputadoras, en los microcontroladores y en sistemas integrados en general. En este caso, además de la memoria, el procesador tiene los buses separados. Así, cada tipo de memoria posee un bus de datos, un bus de direcciones y un bus de control. Por tanto, el procesador puede acceder simultáneamente a cada una de las memorias, aumentando enormemente la velocidad de procesamiento.

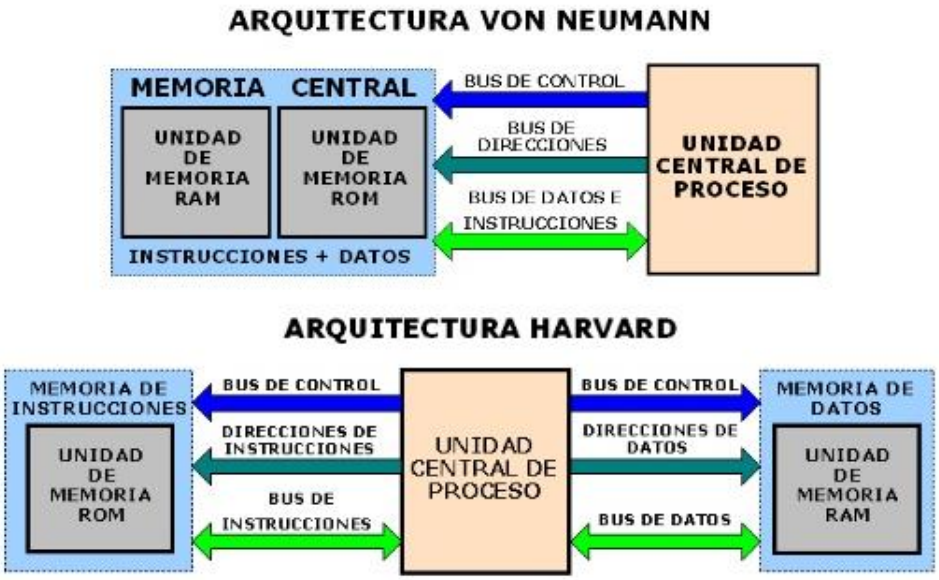


Figura 20: Arquitecturas de los microcontroladores [12]

Los sistemas integrados como los microcontroladores, donde la memoria de datos y de código comparten el mismo encapsulado, suelen utilizar la arquitectura Harvard porque el alto número de líneas de E/S no supone un gran problema.

Los microcontroladores se han desarrollado para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema concreto. Por ello, el tamaño de la CPU –realmente tamaño del registro: 4, 8,16, 32, 64 bits- la cantidad de memoria y el número de periféricos incluidos dependen de la aplicación a la que va destinado.

Un microcontrolador típico también contiene un reloj integrado, una memoria pequeña, unos pocos programas de control y una amplia variedad de periféricos de E/S como conversor analógico-digital y digital-analógico, temporizadores, UART, buses de interfaz serie, etc.

4.2 Análisis de mercado de los microcontroladores y elección

En principio, la búsqueda se restringirá a los microcontroladores de la marca Microchip por dos razones: la primera, porque la exigencia del enunciado es que se programe mediante MPLAB de Microchip y la segunda, debido a la compatibilidad del módulo Bluetooth con una amplia gama de microcontroladores de Microchip.

El microcontrolador también ha de contener al menos un conversor analógico-digital porque es preciso muestrear la señal de tensión proveniente de la sonda de temperatura y digitalizarla. Además, tiene que comunicarse con el módulo Bluetooth por medio de un puerto serie UART.

La sonda de temperatura cubre el rango entre 20 y 120 ºC con una precisión mínima de 1 ºC. Esto quiere decir que son necesarios por lo menos cien niveles para codificar las muestras. Con siete bits pueden codificarse 128 niveles (2^7 = 128). En suma, el conversor A/D debe codificar en siete bits al menos.

Otro condicionante importante es la tensión de alimentación porque se pretende que comparta la misma fuente que el módulo Bluetooth. Además, es conveniente que la tensión de referencia no sea mayor que la tensión de alimentación, sino un poco inferior y así disponer de un margen para pérdidas. En este caso, la tensión de alimentación será de 5 V y la de referencia de 3,30 V que es la tensión pensada para el módulo Bluetooth. De esta forma se utilizará una única fuente para la alimentación del módulo Bluetooth y para la referencia del microprocesador.

Después de realizar la búsqueda se localiza un microcontrolador de Microchips de una de las familias compatibles con el módulo Bluetooth y que cumple con las condiciones planteadas en el diseño del equipo: el PIC16F873A de la gama media.

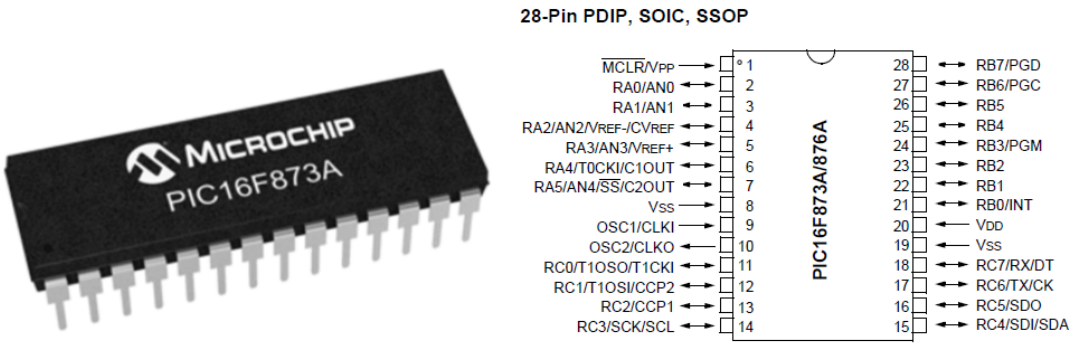


Figura 21: Microcontrolador PIC16F873A y pines [13]

Las principales características del microcontrolador se reflejan en la siguiente tabla:

Característica	Valor
Nombre de familia	PIC16F
Tipo de encapsulado	SPDIP
Tipo de montaje	En orificio pasante
Conteo de pines	28
Ancho del bus de datos	8 Bits
Tamaño de la memoria de programa	128B
Frecuencia máxima	20 MHz
Tamaño RAM	192 B
Número de instrucciones	35
Tensión de alimentación típica	2,5 – 3,3 - 5 voltios
Canales de Convertidor Analógico-Digital	5x10 bits
Tipo de memoria de programa	Flash
Número de unidades ADC	1
Número de canales USART	1
Número de canales I2C	1
Número de canales SPI	1
Arquitectura del conjunto de instrucciones	RISC
Temperatura máxima de funcionamiento	+85 ºC
Temperatura mínima de funcionamiento	-40 ºC
Dimensiones	35,18x7,49x3,43 mm
Temporizadores	1x16 bits, 2x8 bits

Tabla 7: Características del PIC16F873A

4.3 Implementación del programa de control

Después de seleccionar el microcontrolador PIC16F873A se considera que se deben codificar los programas con el IDE MPLAB y se realizará la compilación con XC8, ya que el microcontrolador pertenece a la serie media de ocho bits. En primer lugar se presentan los programas de cabecera propia del proyecto para la configuración del puerto UART y del conversor A/D. A continuación se codifica la configuración del módulo Bluetooth y el programa principal.

```
// UART_PIC16F873A.h
// Inicialización del puerto serie asíncrono UART

void UART_config(void){


    TRISCbits.TRISC7=1; // RC7 entrada RX
    TRISCbits.TRISC6=0; // RC6 salida TX
    TXSTAbits.SYNC=0;   // Modo asíncrono UART
    TXSTAbits.TX9=0;    // 8 bits
    TXSTAbits.BRGH=1;   // Alta velocidad de transmisión
    SPBRG = 129;        // 9600 baudios
    RCSTAbits.SPEN=1;   // UART ON
    TXSTAbits.TXEN=1;   // TX ON
    RCSTAbits.CREN=1;   // RX ON

}

void UART_wr(char caracter_tx){   // Escritura de un caracter en tx
TXREG = caracter_tx;              // El registro TXREG recoge un caracter
    while(TXSTAbits.TRMT == 0);   // El bit TRMT=0 indica que TXREG
                                  // está lleno

}

void UART_print(unsigned char* cadena_tx){ // Escritura de un string en tx
    while(*cadena_tx !=0x00){
        UART_wr(*cadena_tx);
        cadena_tx++;
    }

}

char UART_rd(void){ // Lectura de un caracter en rx

    if(PIR1bits.RCIF == 1){    //El bit RCIF=1 indica que RCREG está lleno

      if(RCSTAbits.OERR){        // El bit RCSTAbits.OERR=1 indica que hay
                                 // un error en la recepción de datos
                                 // Se reinicia la recepción de datos
            RCSTAbits.CREN = 0;  // RX OFF - Recepción deshabilitada
            NOP();               // Espera de un ciclo de instrucción
            RCSTAbits.CREN = 1;  // RX ON - Recepción habilitada
        }
        return RCREG;            //Registro que recibe el dato
    }
    else
        return 0;
}
```

```
// ADC_PIC16F873A.h
// Inicialización del conversor analógico/digital

void ADC_config(void)      // Registros ADCON1 y ADCON0
{
    ADCON1bits.ADFM = 1;  // Justificar a la derecha:bits(0 a 7) de ADRESL
                          // + bits 0 y 1 de ADRESH [1076543210] 10 bits

    ADCON1bits.PCFG =0b0101; // AN0, AN1 analog y AN3 Vref+, resto Digital

    // Con cristal 20 MHz se necesita un multiplicador de 32 TOSC para
    // superar el TAD mínimo de 1,6 us. Sale un TAD de 32/20exp6 = 1,6 us

    ADCON1bits.ADCS2 = 0;     //
    ADCON0bits.ADCS1 = 1;     //    010 --> 32xTOSC
    ADCON0bits.ADCS0 = 0;     //
    ADCON0bits.ADON = 1;      // Conversor A/D encendido
}

uint16_t ADC_rd(uint8_t canal)
{
    ADCON0bits.ADCS = canal;        // Selección de canal: 000 --> AN0
    __delay_us(25);                 // Tiempo de adquisición de la tensión
en
                                    // la entrada. debe ser > 19,72 us
    ADCON0bits.GO = 1;              // Comienza la conversión A/D
    while(ADCON0bits.GO_DONE);      // Cuando la conversión termina .GO =
0

    return ((uint16_t)((ADRESH<<8)+ADRESL));
}
// En un formato de 16 bits se introduce el registro ADRESH,
// se desplaza 8 posiciones y se le suma el registro ADRESL


// BLUETOOTH_RN41XV.h
// Inicialización del módulo Bluetooth RN41XV

void BLUETOOTH_config(void){

    __delay_ms(1000);
    while(UART_rd()!= 'C'){
        UART_print("$$$");       // Activación del módulo. Respuesta: 'CMD'
        __delay_ms(5000);            // 5 segundos para tener tiempo para
    }                                // responder por la terminal virtual
    while(UART_rd()!= 'A'){
        UART_print("\n\rSF,1\n\r");      // Restaura valores de fábrica.
        __delay_ms(5000);            // Respuesta: 'AOK' correcto, 'ERR' error
    }                                // '?' comando desconocido
    while(UART_rd()!= 'A'){
        UART_print("SA,0\n\r");      // Autenticación: 0 --> abierto
        __delay_ms(5000);            // Respuesta: 'AOK' o 'ERR' o '?'
    }
    while(UART_rd()!= 'A'){
        UART_print("SM,0\n\r");      // Modo de operación: 0 --> esclavo
        __delay_ms(5000);            // Respuesta: 'AOK' o 'ERR' o '?'
    }
    while(UART_rd()!= 'A'){
        UART_print("SN, Sonda de Temperatura\n\r"); // Configura el nombre
        __delay_ms(5000);                        // Respuesta: 'AOK' o 'ERR'
    }                                            // o '?'
    while(UART_rd()!= 'A'){
        UART_print("SQ,16\n\r");     // Configuración especial: 16 --> optimiza
```

```
        __delay_ms(5000);           //el firmware para la transferencia de
datos
    }                               // Respuesta: 'AOK' o 'ERR' o '?'
    while(UART_rd()!= 'E'){
        UART_print("---\n\r");      // Sale del modo de ejecución de comandos
        __delay_ms(5000);           // Respuesta: 'END'
    }
    return;
}

void BLUETOOTH_test(void){

    __delay_ms(1000);
    while(UART_rd()!='C'){
        UART_print("$$$");
        __delay_ms(5000);
    }
    while(UART_rd()!='0' && UART_rd()!='1'){
        UART_print("\n\rGK\n\r");   // Muestra estado de conexión. Respuesta:
        __delay_ms(1000);           // 100 -> conectado, 000 --> desconectado
        if(UART_rd()=='0'){
            UART_print("R,1\n\r");      // realiza un reboot del módulo
            __delay_ms(5000);
            BLUETOOTH_config();
        }break;
        if(UART_rd()=='1'){
            while(UART_rd()!='E'){
                UART_print("---\n\r");
                 __delay_ms(100);
            }

        }break;

    }
    return;
    }



// sensorblue.c
// Programa principal

#pragma config FOSC = HS        // HS Alta frecuencia  20 MHz
#pragma config WDTE = OFF       // Watchdog Timer OFF
#pragma config PWRTE = OFF      // Power-up Timer OFF
#pragma config BOREN = ON       // Brown-out Reset ON
#pragma config LVP = OFF        // Programación en Low-Voltage  OFF
#pragma config CPD = OFF        // Data EEPROM Memory Code Protection OFF
#pragma config WRT = OFF        // Flash Program Memory Write OFF
#pragma config CP = OFF         // Flash Program Memory Code Protection OFF

#define _XTAL_FREQ 20000000     // Cristal de 20 MHz
#include <xc.h>
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include "UART_PIC16F873A.h"    // Inicialización del puerto serie UART
#include "ADC_PIC16F873A.h"     // Inicialización del conversor A/D
#include "BLUETOOTH_RN41XV.h"   // Inicialización del módulo Bluetooth

void main(void) {

    TRISBbits.TRISB0 = 0;
    PORTBbits.RB0 = 0;
    UART_config();
    ADC_config();
```

```
    char caracter_rx;        // Variable de lectura del canal RX
    uint16_t dato;           // Variable de 16 bits para el dato digital
    //uint8_t str[10];          // Array de 10 caracteres
    unsigned char str[30];
    int temp;
    float num;

    UART_print("Configuración del módulo BLUETOOTH\n\r");
    BLUETOOTH_config();

    while(1){

        dato = ADC_rd(0);    // Lee dato en el canal 000--> AN0
        num = (float) dato;
        temp = (int)(100*(num/1024)+20);  // La versión gratuita de XC8 no
                                          // compila sprintf con formato float
        sprintf(str, "\nTemperatura: %i °C\n\r", temp);
        UART_print(str);
        __delay_ms(3000);
        BLUETOOTH_test();
    }
    return;
}
```

4.4 Simulación del microcontrolador

La simulación se realiza en Proteus sobre un esquema donde el circuito de entrada se sustituye por dos fuentes de tensión continua, una fija como referencia de 3,30 voltios y otra que se irá variando entre cero y 3,30 voltios en la entrada analógica AN0. Asimismo, la alimentación del microcontrolador será de 5 voltios para tener margen respecto de la señal del sensor y así evitar problemas de saturación.

En un principio se pretendía obtener una salida de temperatura con dos decimales, pero el compilador utilizado XC8 da problemas con la función *sprintf* y el formato *float*. Esta cuestión se deja pendiente de solución y se ofrece una salida con formato *int*. Aun así, la resolución mínima de un grado centígrado no queda comprometida.

Asimismo, el programa no dispone de un módulo Bluetooth como el elegido para el diseño y, por ello, se utiliza la terminal virtual para establecer la comunicación que se tendría con el módulo permitiendo validar o no la programación del microcontrolador.

En las simulaciones a distintas tensiones no se realiza ninguna otra variación más que la tensión de entrada por el pin RA0/AN0. Como se puede comprobar en las siguientes figuras el programa de control codificado funciona perfectamente. Simplemente falta unir el circuito de la sonda de temperatura y componer el circuito completo

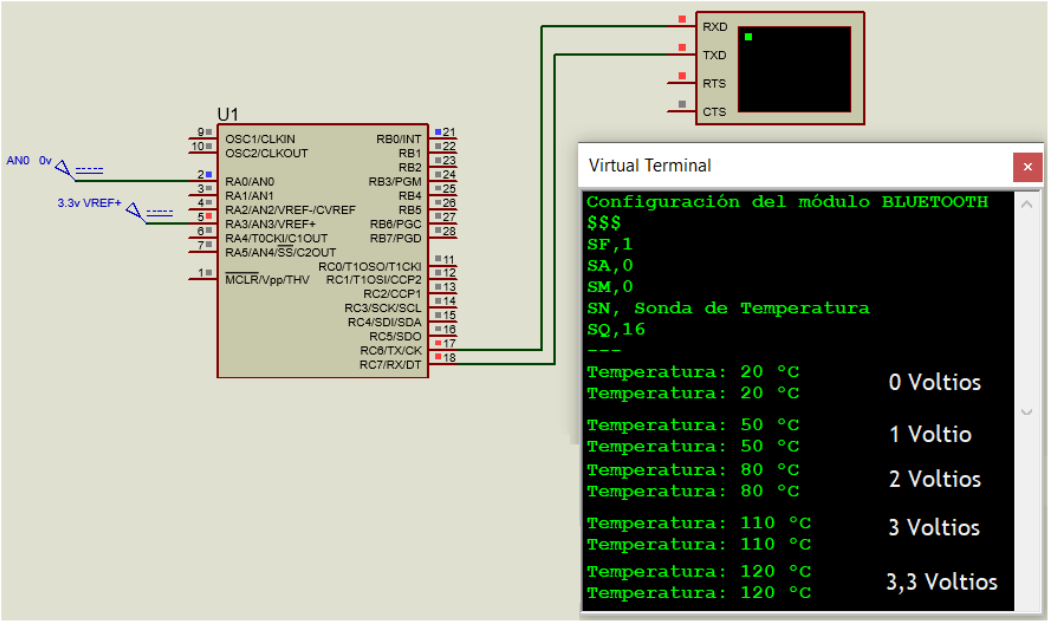


Figura 22: Simulación del microcontrolador a distintas temperaturas

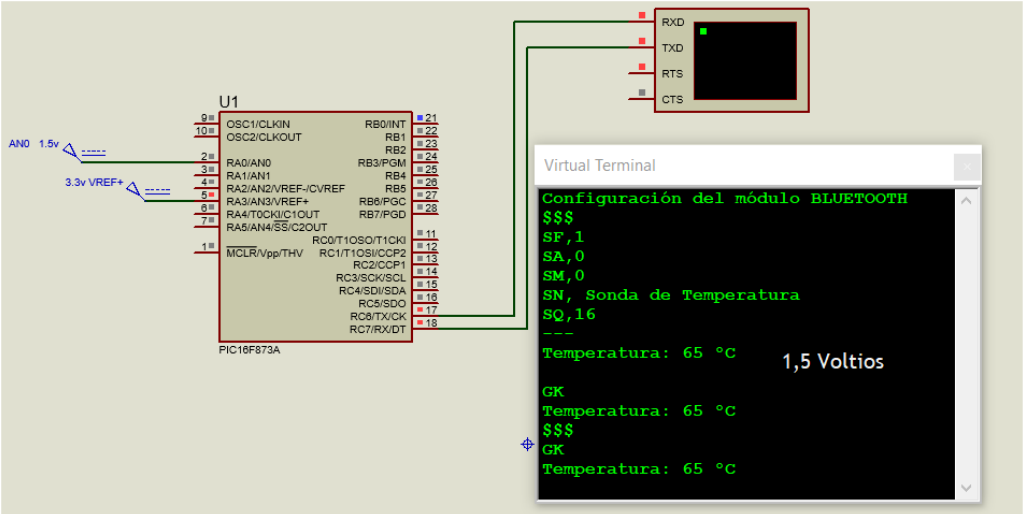


Figura 23: Simulación del código de la función BLUETOOTH_test()

Para la validación de las simulaciones, la temperatura y la resistencia de la sonda pueden ser calculadas según las siguientes ecuaciones:

(13) $$T\ [^{o}C] = \frac{120^{o} - 20^{o}}{3,30v - 0v} \cdot V[v] + 20^{o} \qquad R\ [\Omega] = \frac{146,2\Omega - 107,7\Omega}{3,30v - 0v} \cdot V[v] + 107,7\Omega$$

Asimismo, relacionándolas se obtiene la temperatura en función de la resistencia:

(14) $$\frac{T\ [^{o}C] - 20}{100} = \frac{R\ [\Omega] - 107,7}{38,5} \qquad T\ [^{o}C] = \frac{R\ [\Omega] - 107,7}{38,5} \cdot 100 + 20$$

Utilizando las fórmulas anteriores se procede a simular el circuito completo con distintos valores de la resistencia, comprobándose que el funcionamiento del circuito es muy aproximado al valor calculado. Como ejemplo se traslada la simulación de 113 ºC, equivalente a 143,505 Ω. Sin embargo, el comportamiento no es totalmente satisfactorio cuando se realiza el diseño del equipo electrónico con propio sensor PT100, cuyo comportamiento se aproxima más al real.

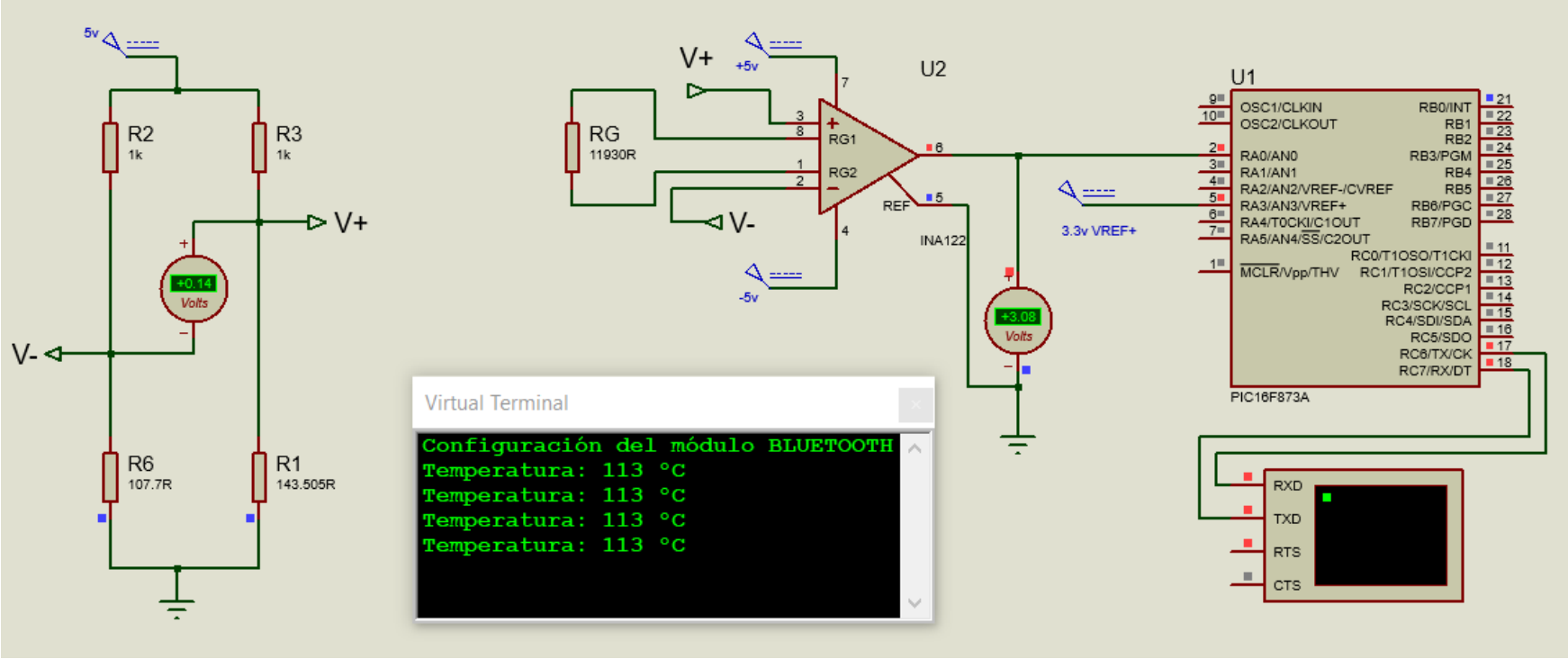


Figura 24: Simulación del circuito completo para una resistencia de 143,505 ohmios – 113 ºC -

En las siguientes figuras se ajusta la simulación con un PT100 real con un desvío de un ohmio en la resistencia de la sonda. En la primera, se ajusta la resistencia de referencia en el puente de Wheatstone para que la salida del puente sea una tensión nula cuando la resistencia del PT100 es la correspondiente a 20 ºC.

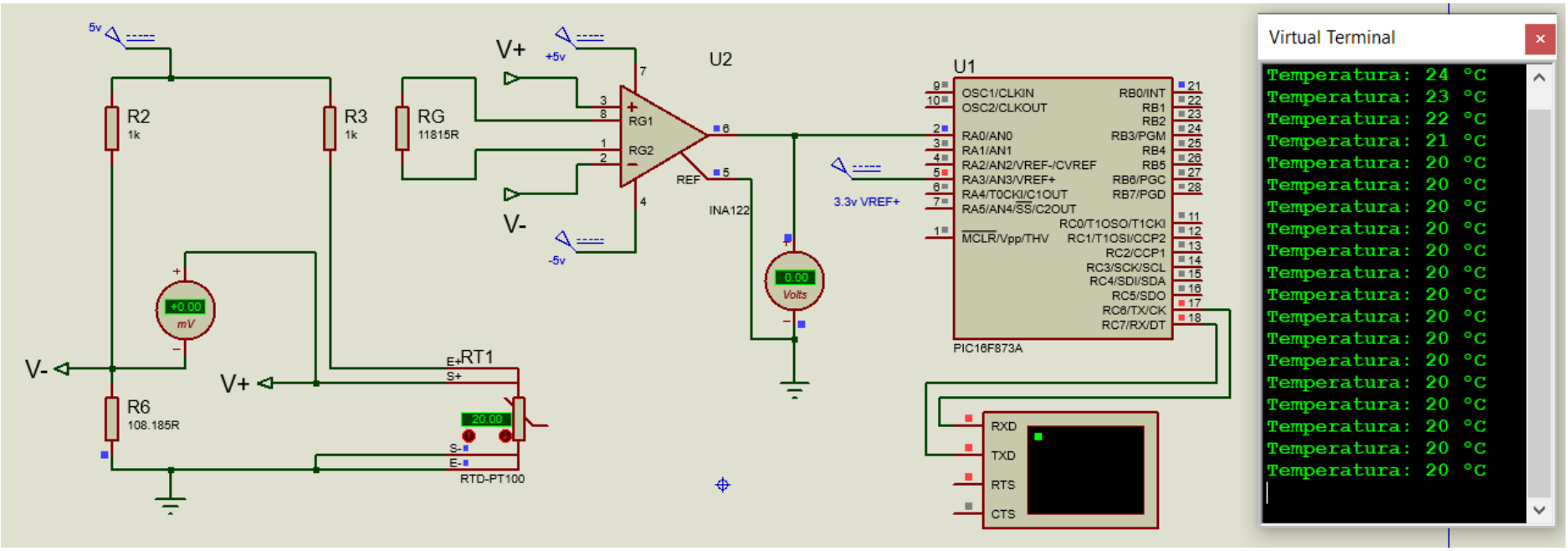


Figura 25: Simulación del circuito con PT100 real y ajuste de la salida del puente a cero voltios

La siguiente figura representa de nuevo la simulación del circuito con la sonda PT100 real y el ajuste de la resistencia de referencia del amplificador de instrumentación para lograr que la tensión de salida del amplificador sea de 3,30 voltios, la máxima del intervalo cuando la temperatura indicada por la sonda es de 120 ºC.

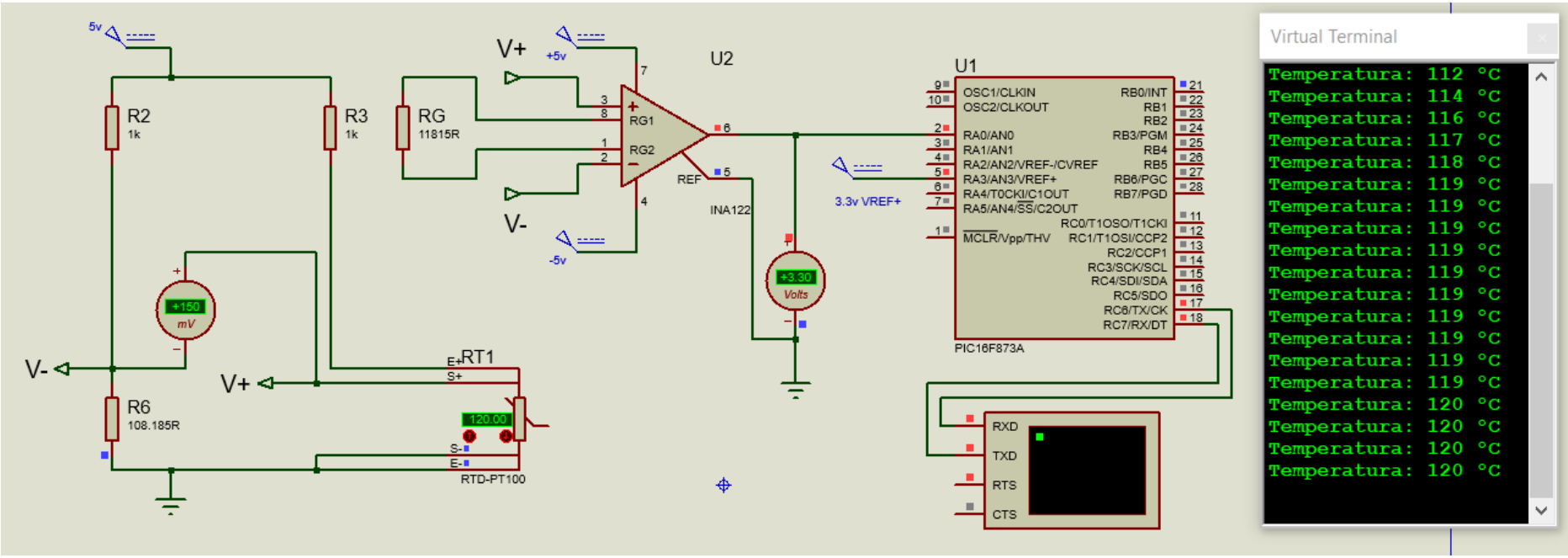


Figura 26: Simulación del circuito con PT100 real y ajuste de la resistencia del AOI para una salida de 3,30 voltios a 120 ºC

5. Diseño de la fuente de alimentación

Uno de los objetivos del proyecto es dotar al equipo electrónico de unas fuentes de alimentación lo más eficientes posibles. La alimentación principal de la que se dispone es de 24 voltios de corriente continua, que no puede ser aplicada directamente a ninguno de los componentes, por lo que será necesario tomar decisiones que no serán triviales.

5.1 Introducción a las fuentes de alimentación

Existen dos tipos principales de fuentes de alimentación reguladas: lineales y conmutadas. Las características de unas y otras pueden resumirse en la siguiente relación:

- Tamaño y peso: las fuentes lineales usan un transformador que trabaja a una frecuencia de 50 Hz muy grandes y pesados, mientras que las fuentes conmutadas funcionan con transformadores a altas frecuencias, desde 50 kHz hasta 1 MHz, mucho más pequeños y ligeros, también más caros.

- Voltaje de salida: las fuentes lineales regulan la señal de salida utilizando un voltaje más alto en etapas previas para compensar las grandes pérdidas de energía debido al calor generado y disipado. Las conmutadas pueden ofrecer tensiones de salida más bajos que el voltaje de entrada, pero también más altos e incluso de valor inverso al de entrada, siendo fuentes más adaptables.

- Eficiencia: una fuente lineal regula la tensión o la intensidad de salida disipando el exceso de energía en forma de calor, lo que la convierte en una fuente muy ineficaz. Una fuente conmutada utiliza una señal de control para regular el ancho de pulso, tomando de la alimentación solo la energía que requiere la carga. La eficiencia de una fuente conmutada generalmente se sitúa entre el 75% y el 85%, mientras que la fuente lineal más eficiente no supera el 60%.

- Otras características: en general, las fuentes conmutadas son más complejas y caras, tienen más cambios abruptos de corriente y generan más interferencias electromagnéticas. Las lineales no producen interferencia y son más utilizadas en aplicaciones donde la interferencia de RF no puede suceder. Sin embargo, las fuentes lineales pueden generar *ripple* (ondulaciones alternas del orden de varios milivoltios) y también ruido acústico en forma de zumbido débil a la frecuencia de alimentación. No así las fuentes conmutadas, que pueden generar sonidos agudos por ruido acústico a frecuencia de conmutación. En ambas clases de fuentes es necesario corregir el factor de potencia, ya que en las dos se obtiene la energía en los picos de tensión de la línea de alimentación.

5.2 Cálculo del consumo del equipo

Según las hojas de características de los componentes los consumos son los siguientes:

Componente	Consumo (mA)	Fuente (V)
Módulo Bluetooth RN-41NXV	30	3,30
Amplificador de instrumentación INA122	0,060	(±)12
Microcontrolador PIC16F873A (máxima corriente de entrada por Vdd)	250	5 Ref: 3,30
Sonda de Temperatura PT100 RS PRO	5	5

Tabla 8: Consumos máximos de los principales componentes

5.3 Elección de las fuentes de alimentación

La alimentación disponible es de 24 voltios de corriente continua, por lo que no es necesario ni rectificar ni filtrar una señal alterna. Simplemente se trata de rebajar la tensión disponible a los niveles de utilización: ±5 V y +3,30 V. Se utilizarán dos convertidores DC/DC tipo *Buck* (convertidor reductor) y otro tipo *Inverting Buck Boost* (convertidor elevador-reductor de signo inverso). En ambos casos se diseñarán con una intensidad máxima de corriente con amplio margen respecto al consumo previsto. Para el desarrollo de los convertidores se utiliza la herramienta Webench Design Center de Texas Instruments.

5.3.1 Diseño de la fuente de alimentación de +5 voltios

Las exigencias planteadas son las siguientes: que la entrada sea una tensión continua de 24 voltios, la salida una tensión continua de 5 voltios, una intensidad máxima de salida de un amperio y con la mayor eficiencia. En la aplicación se obtiene el siguiente diseño:

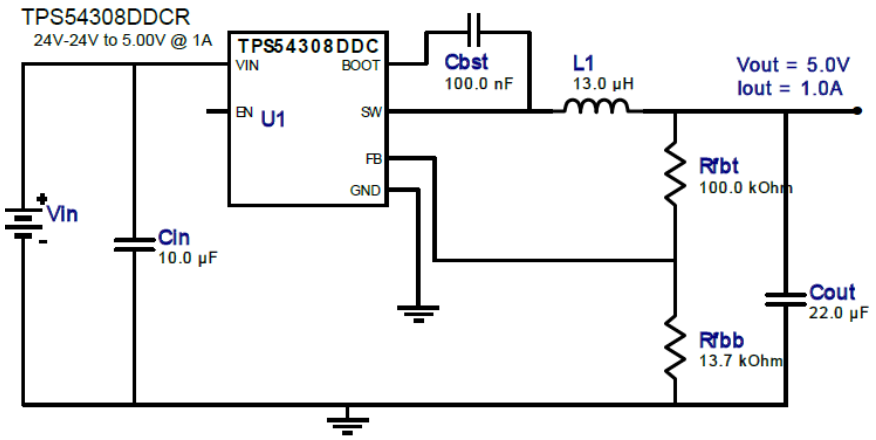


Figura 27: Fuente de alimentación de +5 voltios

El período transitorio sobrepasa ligeramente un milisegundo, tiene una eficiencia del 94,3%, un *footprint* de 231 mm^2 y encapsulado SOT23-6 THIN. Esta fuente alimentará el microcontrolador, el amplificador de instrumentación y el circuito de la sonda de temperatura PT100.

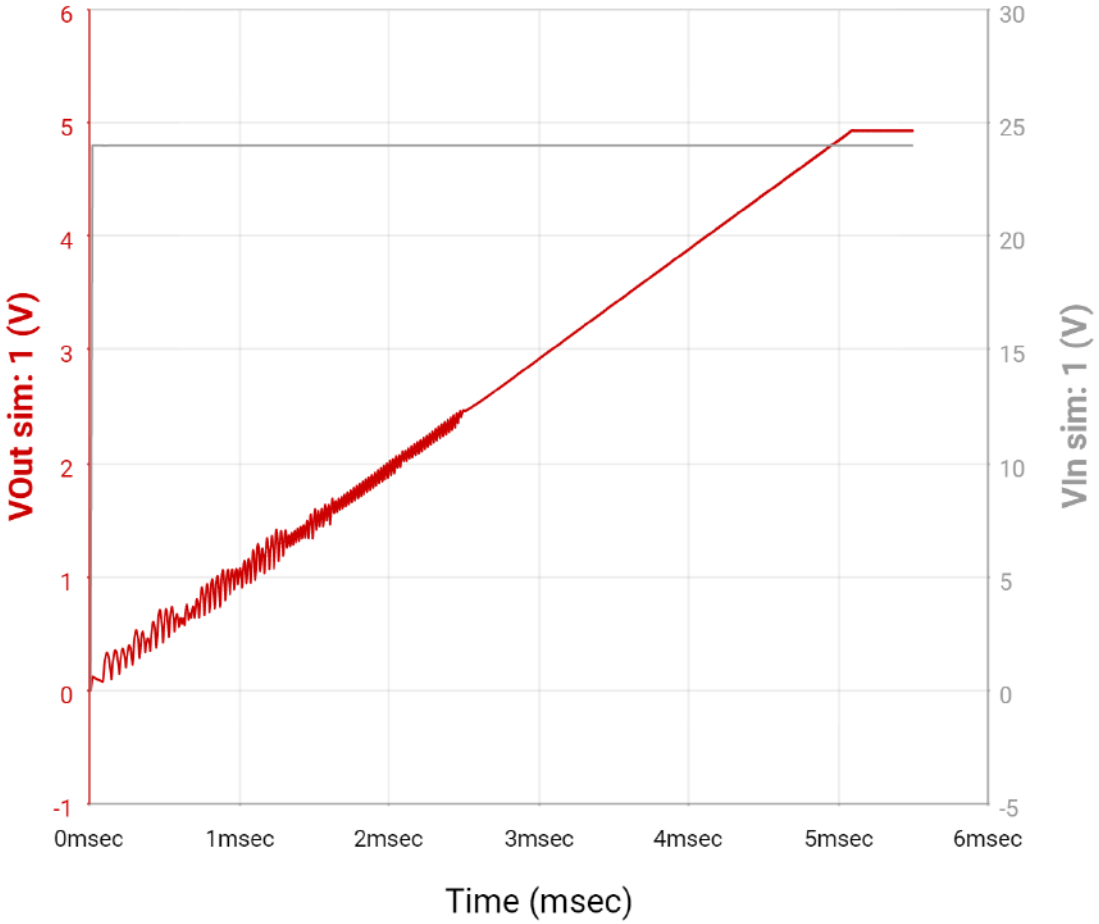


Figura 28: Resultado de la simulación de la fuente de 5 V (Vout, Vin)

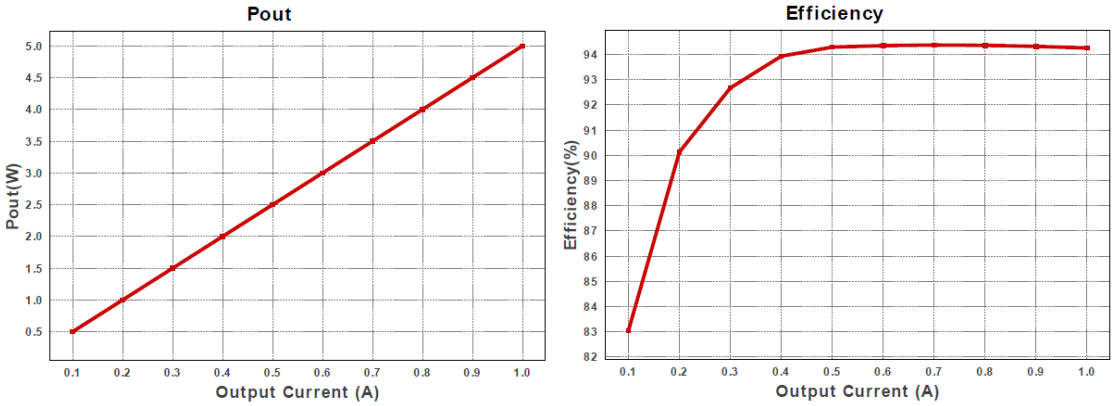


Figura 29: Resultado de la simulación de la fuente de 5 V (Pout, Eficiencia)

5.3.2 Diseño de la fuente de alimentación de 3,30 voltios

Las exigencias planteadas son: que la entrada sea una tensión continua de 5,00 voltios, la salida una tensión continua de 3,30 voltios, una intensidad máxima de salida de 100 miliamperios y mejor equilibrado. Uno de los diseños obtenidos con menor *footprint* y mayor eficiencia es el siguiente:

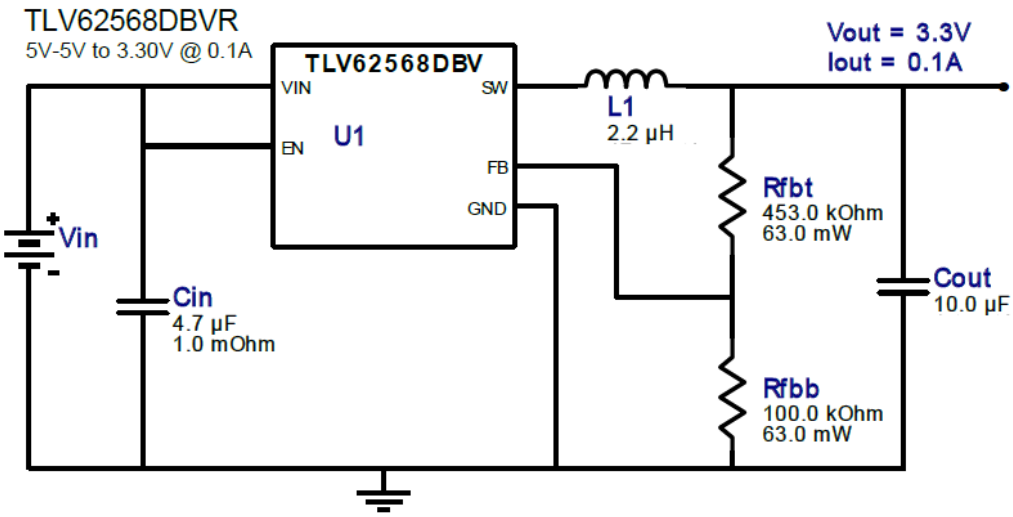


Figura 30: Fuente de alimentación de 3,30 voltios DC

El período transitorio no llega a un milisegundo, una eficiencia del 93,1%, un *footprint* de 60 mm^2 y un encapsulado SOT23-5. Esta fuente alimentará el módulo Bluetooth y proporcionará la tensión de referencia al microcontrolador para la digitalización de la señal analógica procedente de la sonda de temperatura PT100, que oscilará entre la tensión nula de valor mínimo y los 3,30 V de valor máximo.

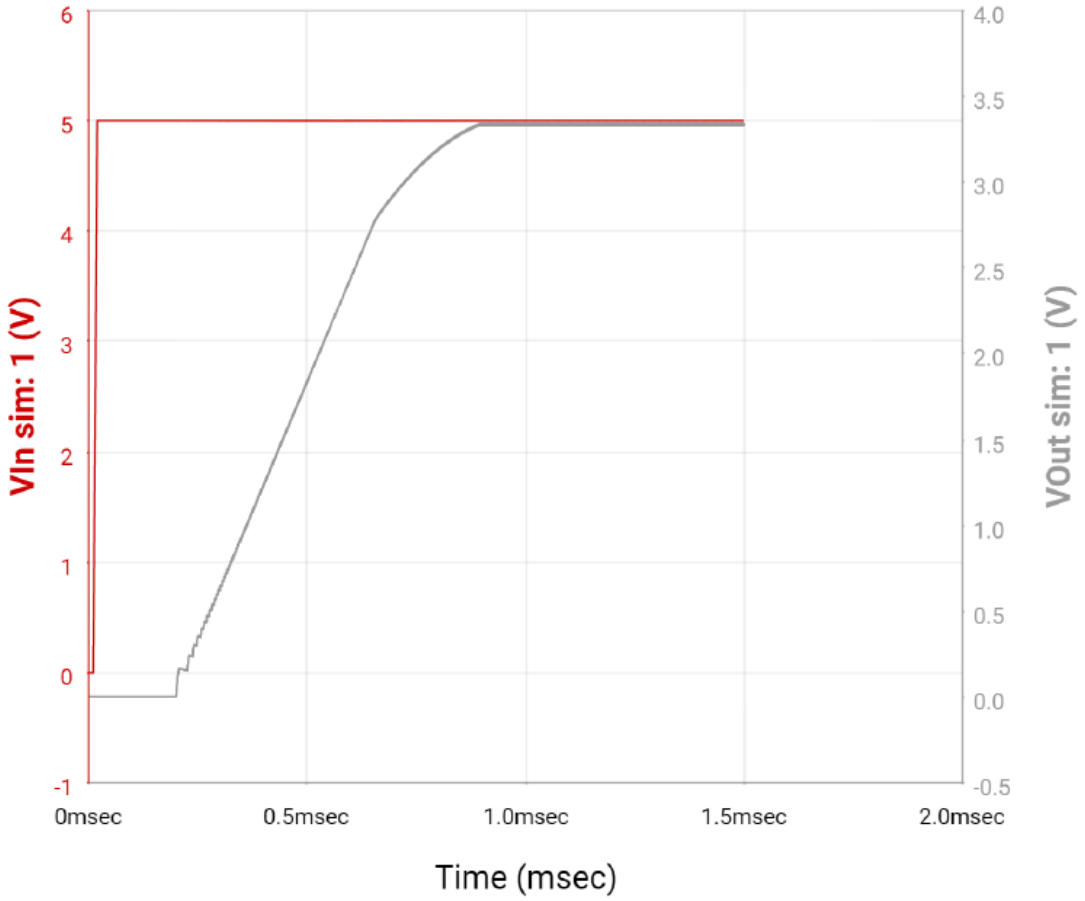


Figura 31: Resultado de la simulación de la fuente de 3,30 V (Vout, Vin)

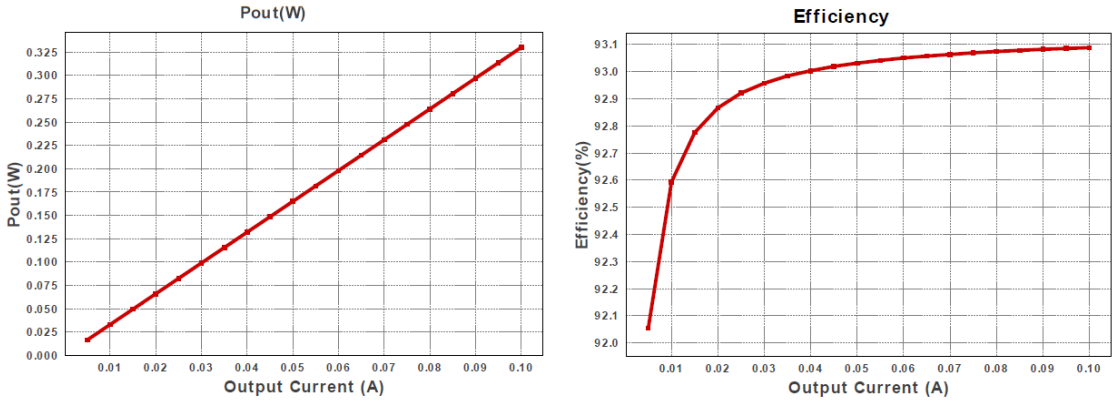


Figura 32: Resultado de la simulación de la fuente de 3,30 V (Pout, Eficiencia)

5.3.3 Diseño de la fuente de alimentación de -5 voltios

La entrada es una tensión continua de 24 voltios y la salida una tensión continua de -5 voltios y con una intensidad máxima de salida de 500 miliamperios. Además, ha de tener la máxima eficiencia posible.

La aplicación Webench Power designer de TI ofrece un diseño más complejo que los anteriores. La conversión de un voltaje positivo en otro negativo siempre provoca que el número de componentes electrónicos sea muy superior. De todas formas, el circuito ofrece las siguientes prestaciones: El período transitorio sobrepasa ligeramente los 4 milisegundos, tiene una eficiencia del 89,7%, un *footprint* de 321 mm^2 y el encapsulado es del tipo HSOIC(8). Esta fuente alimentará el amplificador de instrumentación.

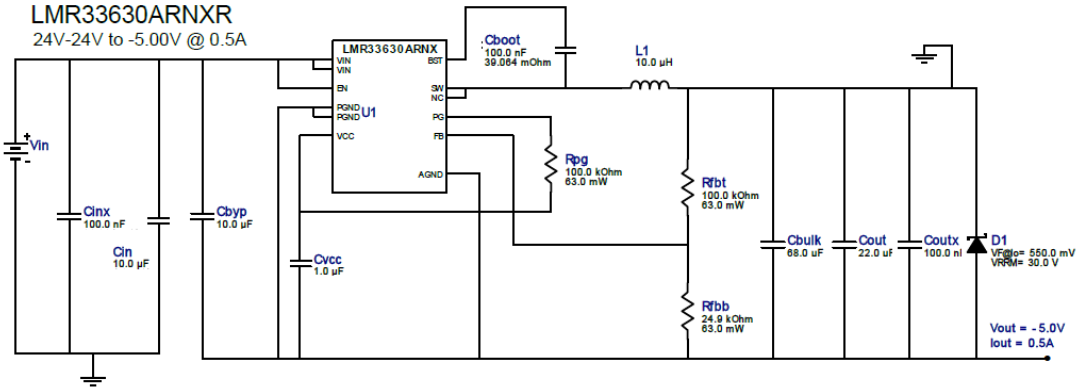


Figura 33: Fuente de alimentación de -5 voltios

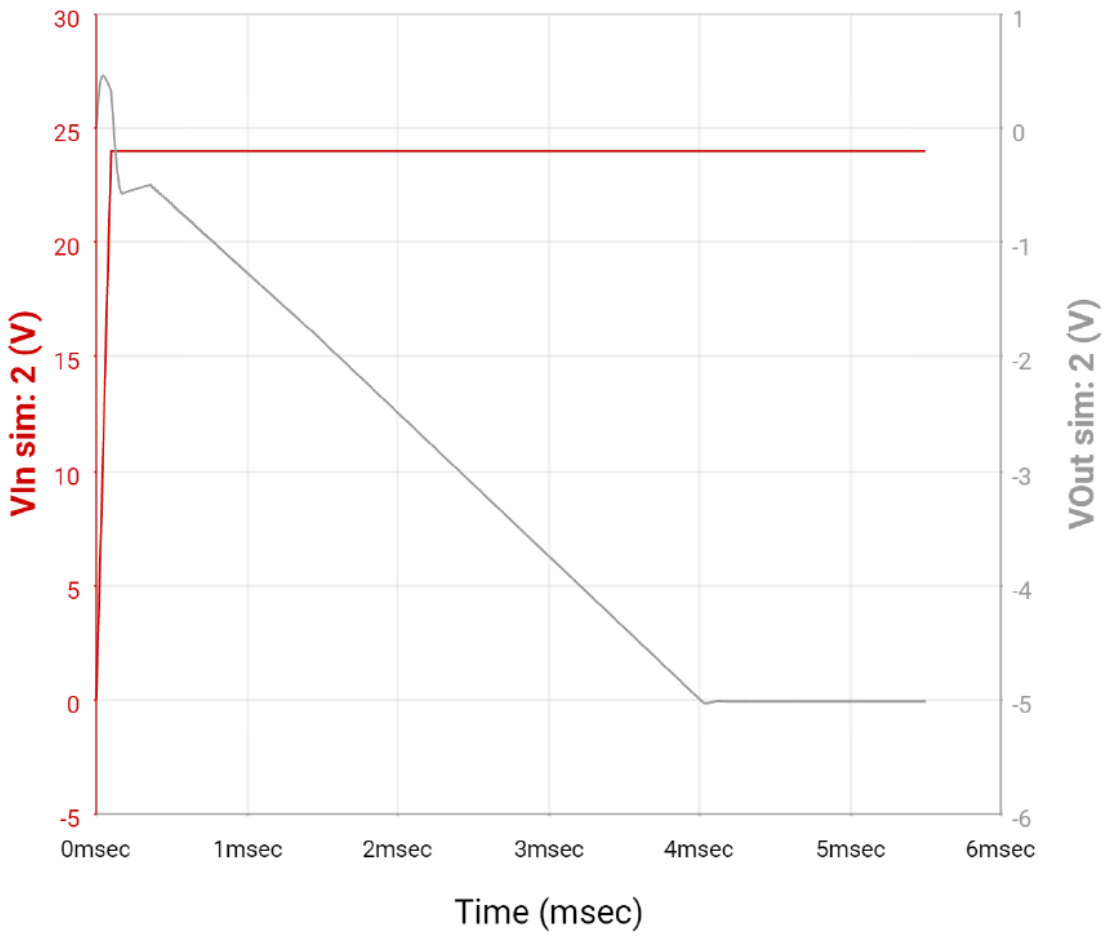


Figura 34: Resultado de simulación de la fuente de -5 V (Vout, Vin)

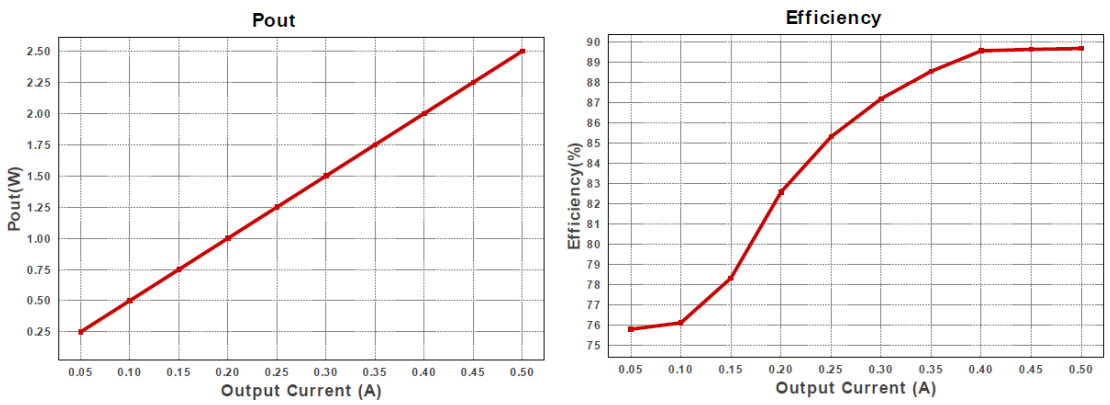


Figura 35: Resultado de la simulación de la fuente de -5 V (Pout, Eficiencia)

6. Diseño del *layout* de la PCB

Una vez que se ha logrado diseñar cada una de las partes funcionales del equipo llega el momento de integrarlas físicamente en una placa. Para ello se trabajará con el *footprint* de cada componente y se trazarán las líneas de conexión de la forma más coherente posible. En general, la disposición de los componentes en los esquemas difiere bastante de su posición real en una placa.

6.1 Esquema definitivo del circuito

Para la implementación del *layout*, en primer lugar, se plantea el circuito electrónico completo para el equipo de monitorización de temperatura. Para ello, es necesario diseñar los componentes que no están disponibles en las librerías del programa. Es el caso de los convertidores de tensión y del módulo Bluetooth. A continuación se puede observar el modelo conseguido para cada uno de ellos a partir de su hoja de características:

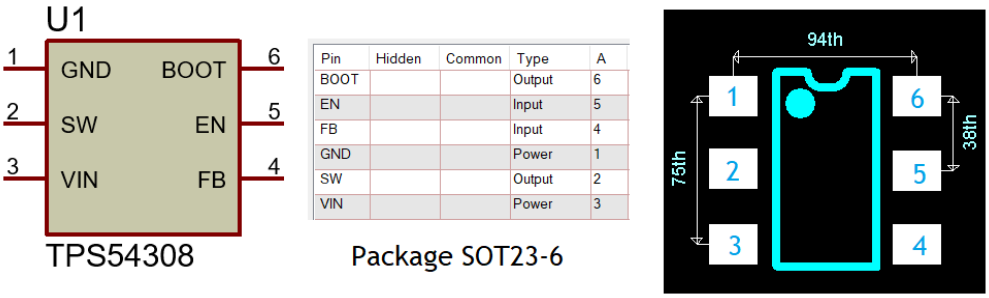


Figura 36: Esquemático del componente TPS54308

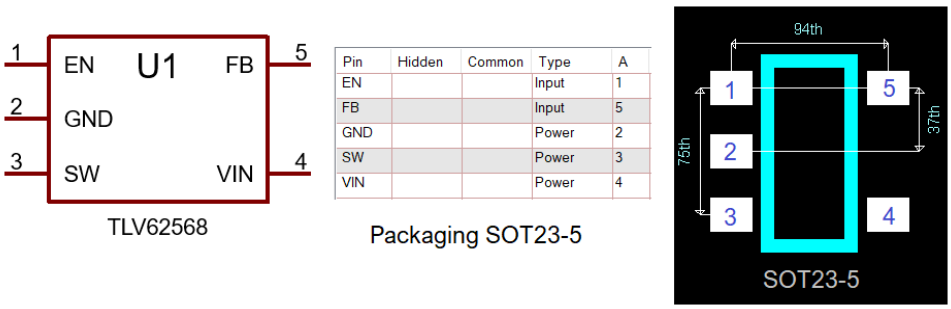


Figura 37 Esquemático del componente TLV62568

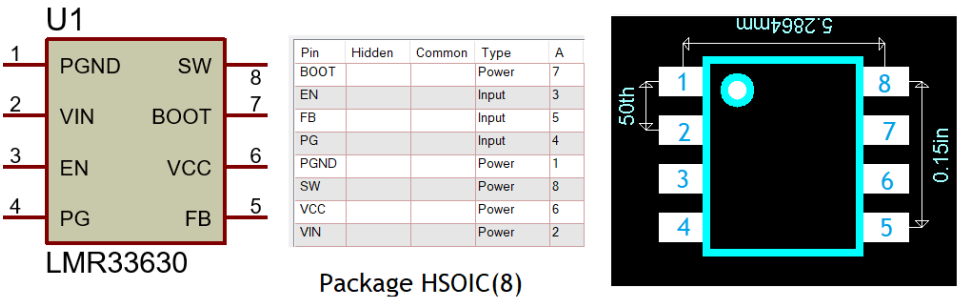
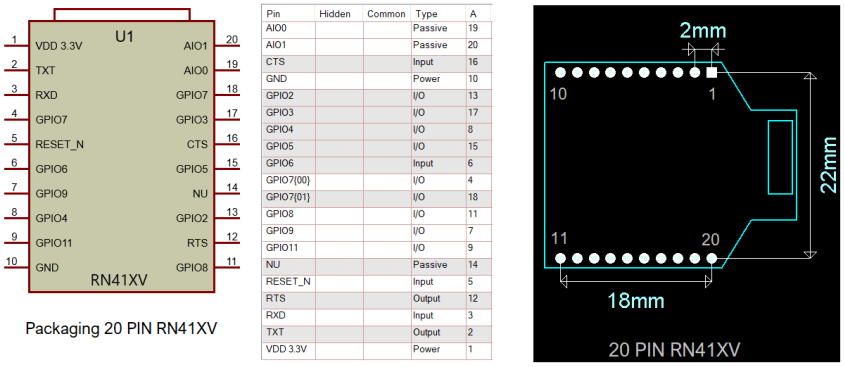


Figura 38: Esquemático del componente LMR33630



Pin	Hidden	Common	Type	A
AIO0			Passive	19
AIO1			Passive	20
CTS			Input	16
GND			Power	10
GPIO2			I/O	13
GPIO3			I/O	17
GPIO4			I/O	8
GPIO5			I/O	15
GPIO6			Input	6
GPIO7{00}			I/O	4
GPIO7{01}			I/O	18
GPIO8			I/O	11
GPIO9			I/O	7
GPIO11			I/O	9
NU			Passive	14
RESET_N			Input	5
RTS			Output	12
RXD			Input	3
TXT			Output	2
VDD 3.3V			Power	1

Figura 39: Esquemático del componente RN41XV

Una vez desarrollados los modelos de los componentes se compone el circuito electrónico completo del equipo teniendo en cuenta que ha de generarse el *layout* a partir de él. Por ejemplo, se prevé la instalación de dos conectores, uno de dos conexiones para la toma de tensión de 24 voltios y otro de cuatro conexiones para la sonda de temperatura PT100.

También se adecúan las resistencias de regulación del AO de instrumentación a valores comerciales, pero para su ajuste se sitúa un potenciómetro de 1000 Ω en serie. En el puente de Wheatstone también se disponen resistencias con valores comerciales y para el ajuste se utiliza un potenciómetro en paralelo de 100 Ω. Los potenciómetros están configurados como resistores variables en el conexionado de sus terminales. Como se observa en la siguiente simulación, la corriente entre los terminales del AO de instrumentación es inferior a 13 µA, nivel soportable ampliamente por el potenciómetro ya que su potencia máxima es de 1 W. Además, la precisión del ajuste está garantizada porque el dispositivo dispone de un desplazamiento de 20 vueltas para 1000 Ω, es decir, 50 Ω en cada giro para un recorrido lineal entre 11200 y 12200 Ω.

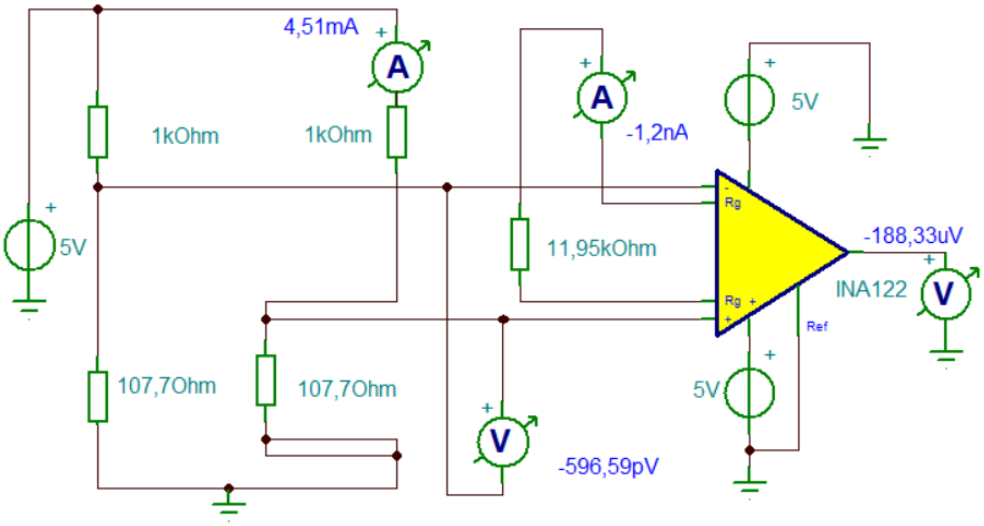


Figura 40: Intensidades en los circuitos de regulación

El montaje del potenciómetro en el puente de Wheatstone garantiza una corriente máxima de 2,5 mA, muy inferior a la máxima soportada por el dispositivo. Además, permite una regulación lineal entre 100 y 120 ohmios con un ajuste muy aproximado a un ohmio por cada giro del tornillo del potenciómetro.

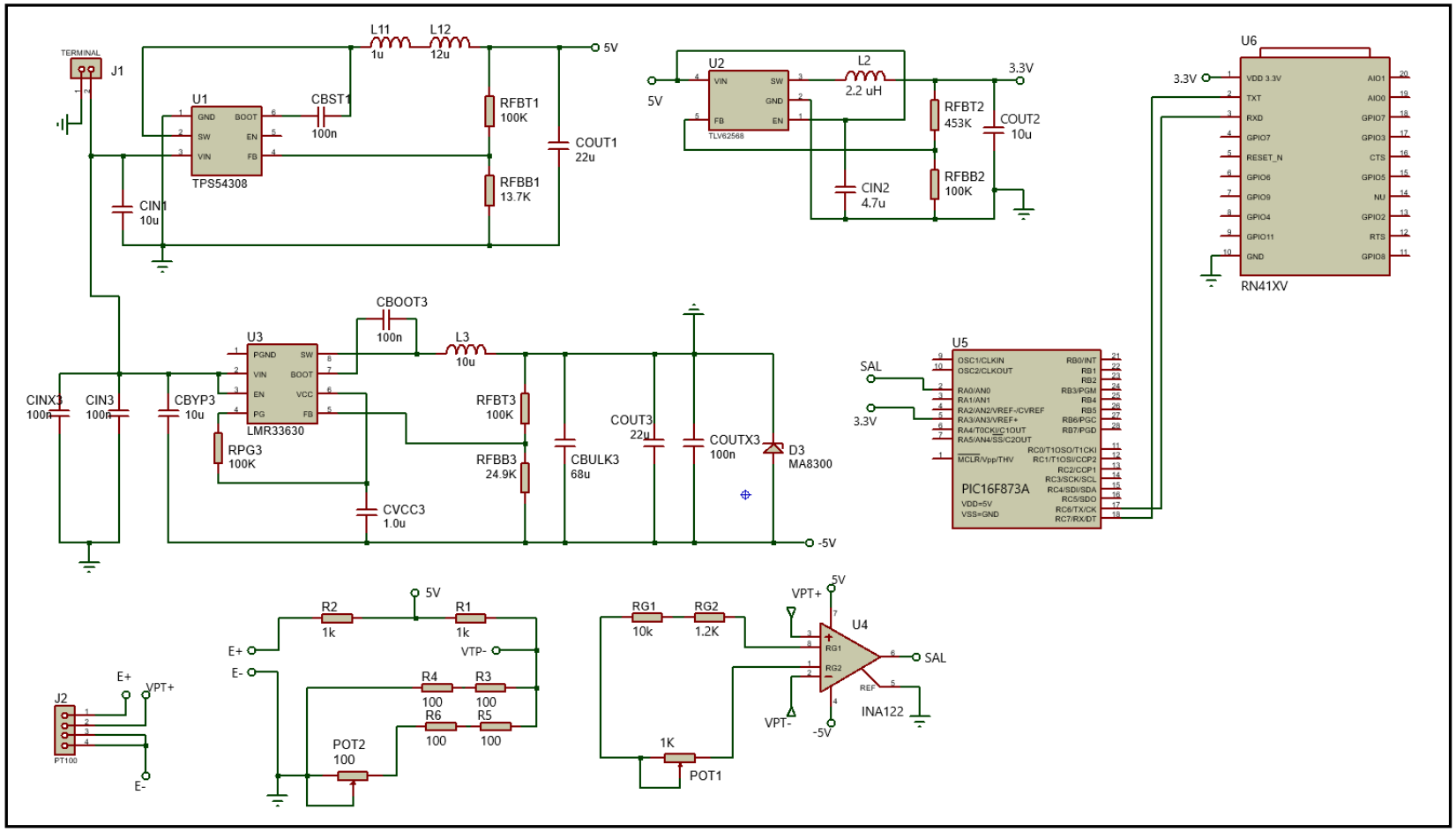


Figura 41: Esquema electrónico completo

6.2 *Layout* de la PCB

En el diseño del equipo electrónico se han elegido componentes de montaje superficial o SMD (Surface Mounting Device) y también componentes de montaje con agujeros pasantes o *through hole*. Por este motivo, lo óptimo es utilizar una placa de doble cara. La elegida es la placa RE200-LFDS de ROTH ELEKTRONIK con unas dimensiones útiles de 100x160x1,5 [mm], de doble cara de cobre de 35 µm de espesor. Entre estas dos capas de cobre se dispone un sándwich de varias capas de fibra de vidrio adheridas entre sí con resina epoxi. Las resinas epoxi son excelentes aislantes eléctricos y protegen de cortocircuitos, polvo y humedad. También se usa para el pegado de las capas de cobre sobre la fibra de vidrio. Esta placa, además, posee 38x61 nodos de soldadura de 2,20 mm de diámetro, una trama de agujeros de 2,54x2,54 mm sin contactos metalizados de 1 mm de diámetro.

Figura 42: Placa RE200-LFDS de fibra de vidrio epoxídica.

A partir del esquema electrónico se van situando los conectores y los potenciómetros de tal manera que sean fácilmente accesibles, es decir, cerca de los bordes y con sus accesos orientados hacia el exterior. De la misma forma, se sitúa el módulo Bluetooth con su emisor libre de obstáculos. Posteriormente, se ordenan los demás componentes y se ejecuta el ruteo automático del programa con la configuración descrita a continuación. Posteriormente, se muestran el *layout* y distintas vistas de la placa.

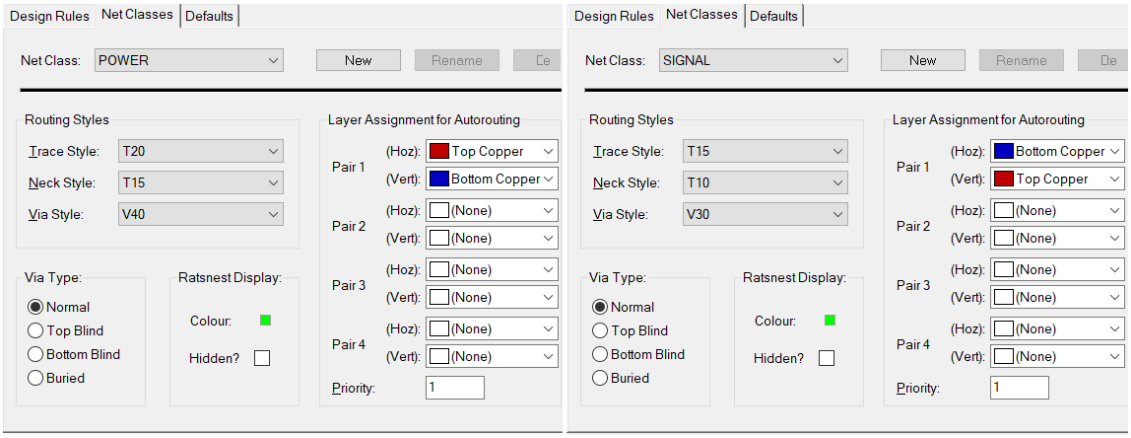


Figura 43: Configuración de las redes en la PCB

Como se puede comprobar, la configuración del ruteo de las pistas difiere según sea la red de alimentación y masa o la red de la señal. Así, en la red de alimentación el ancho de vía es de 40 milésimas de pulgada, la pista de 20 milésimas y los estrechamientos de 15 milésimas, mientras que en la red de la señal son de 30, 15 y 10 milésimas de pulgada respectivamente.

Hay que tener en cuenta que en placas con espesor de cobre de 35 micras, una anchura de la pista de 20 milésimas de pulgada – que equivalen a 0,5 mm - en la red de alimentación permite circular una intensidad de corriente máxima de 2 A. Por otro lado, la separación entre pistas depende de las tensiones que se soporten. En este caso son tensiones inferiores a 10 V, considerando un salto entre +5 V y -5 V. con una separación entre pistas de 12 milésimas de pulgada (0,3 mm) sería suficiente.

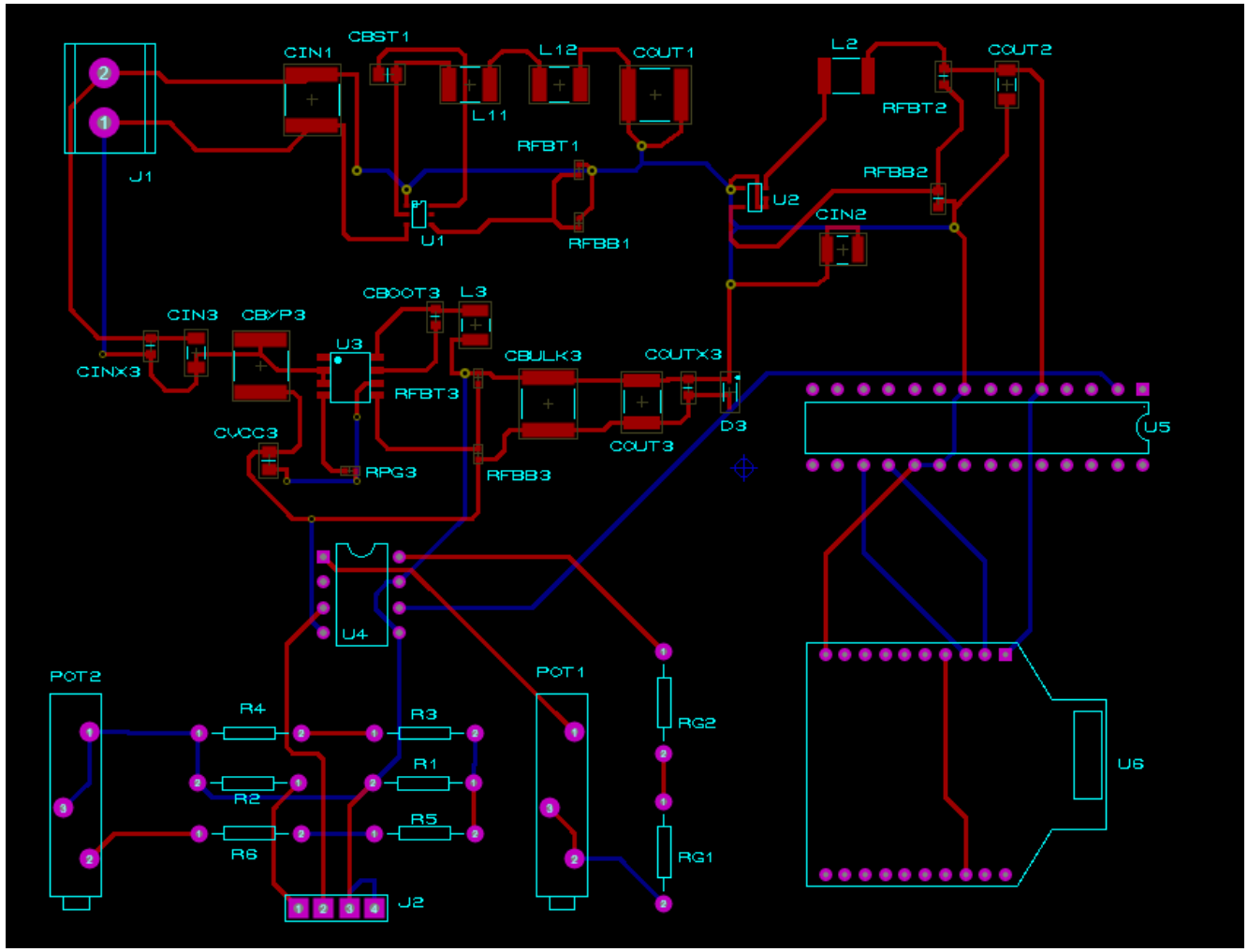


Figura 44: *Layout* del circuito

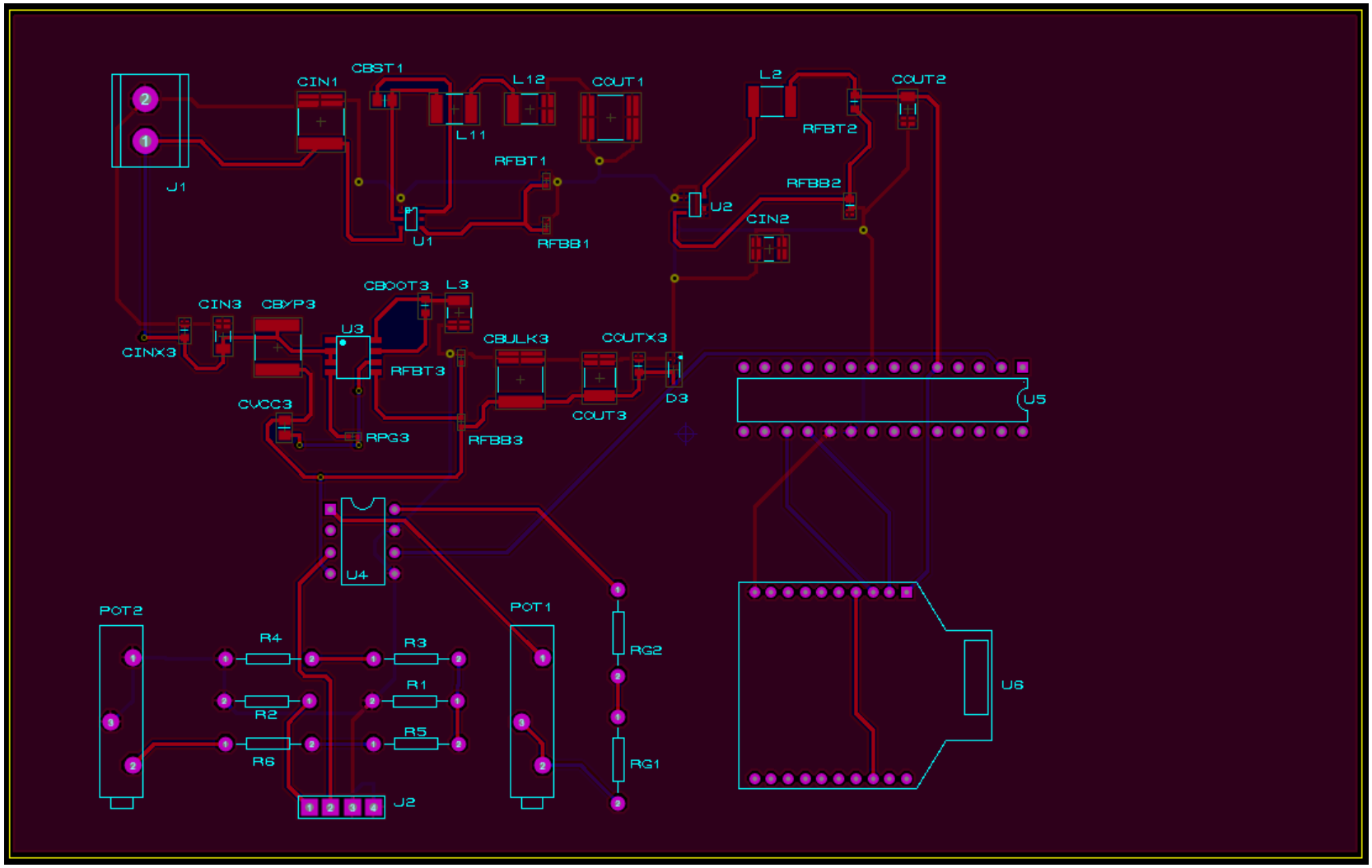


Figura 45: Vista Top Copper de la PCB

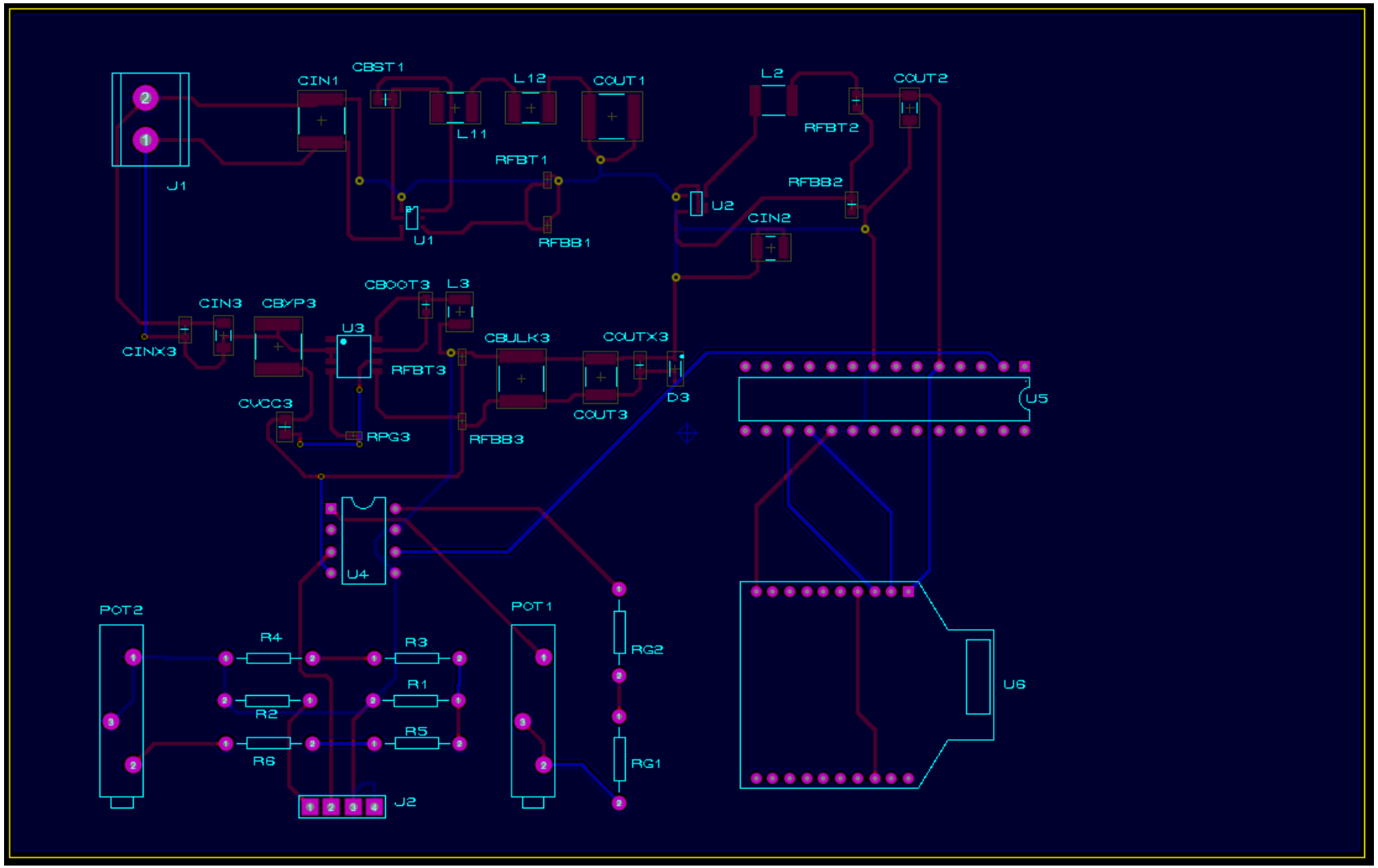


Figura 46: Vista Botton Copper de la PCB

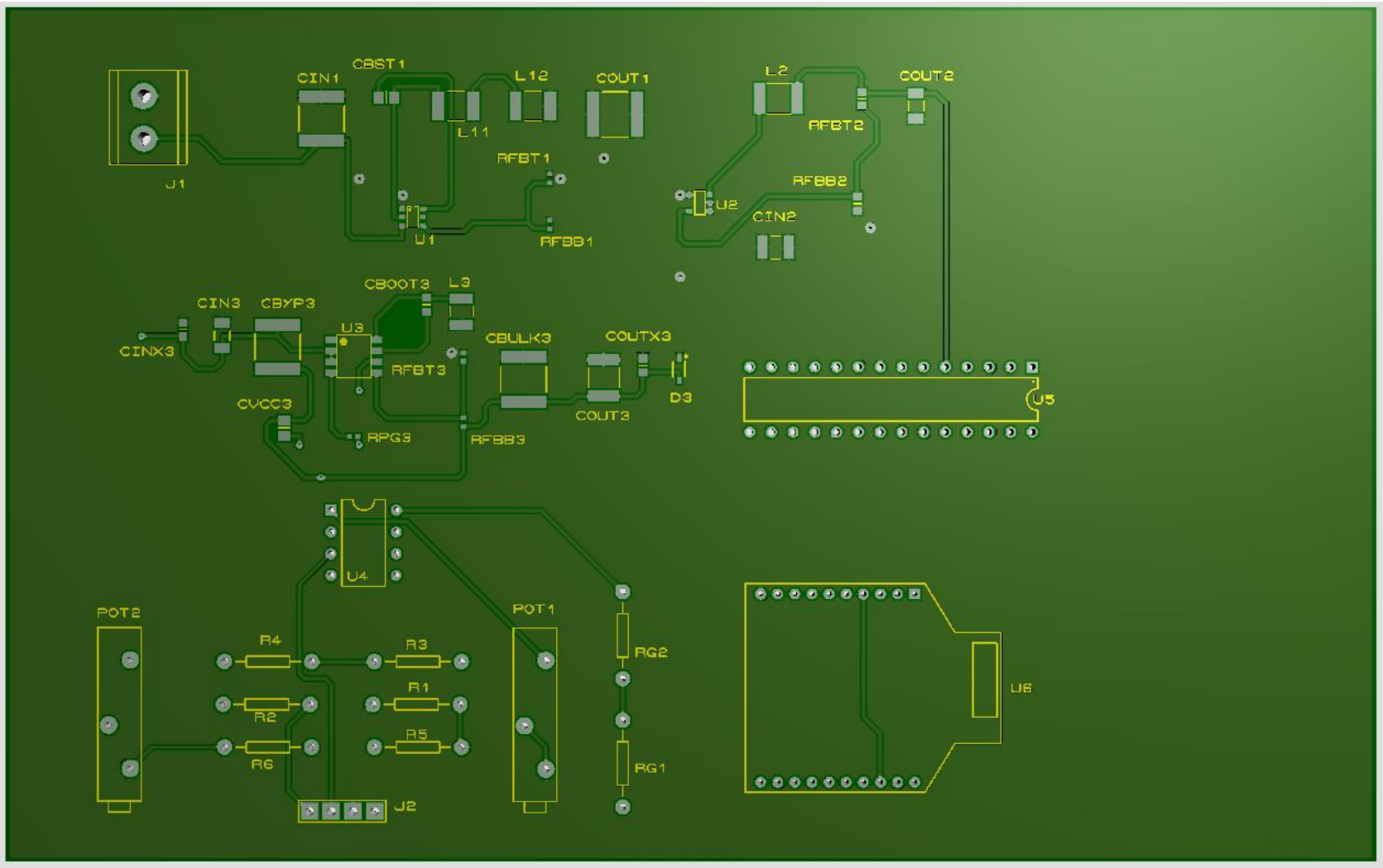


Figura 47: Vista en planta de la placa sin componentes

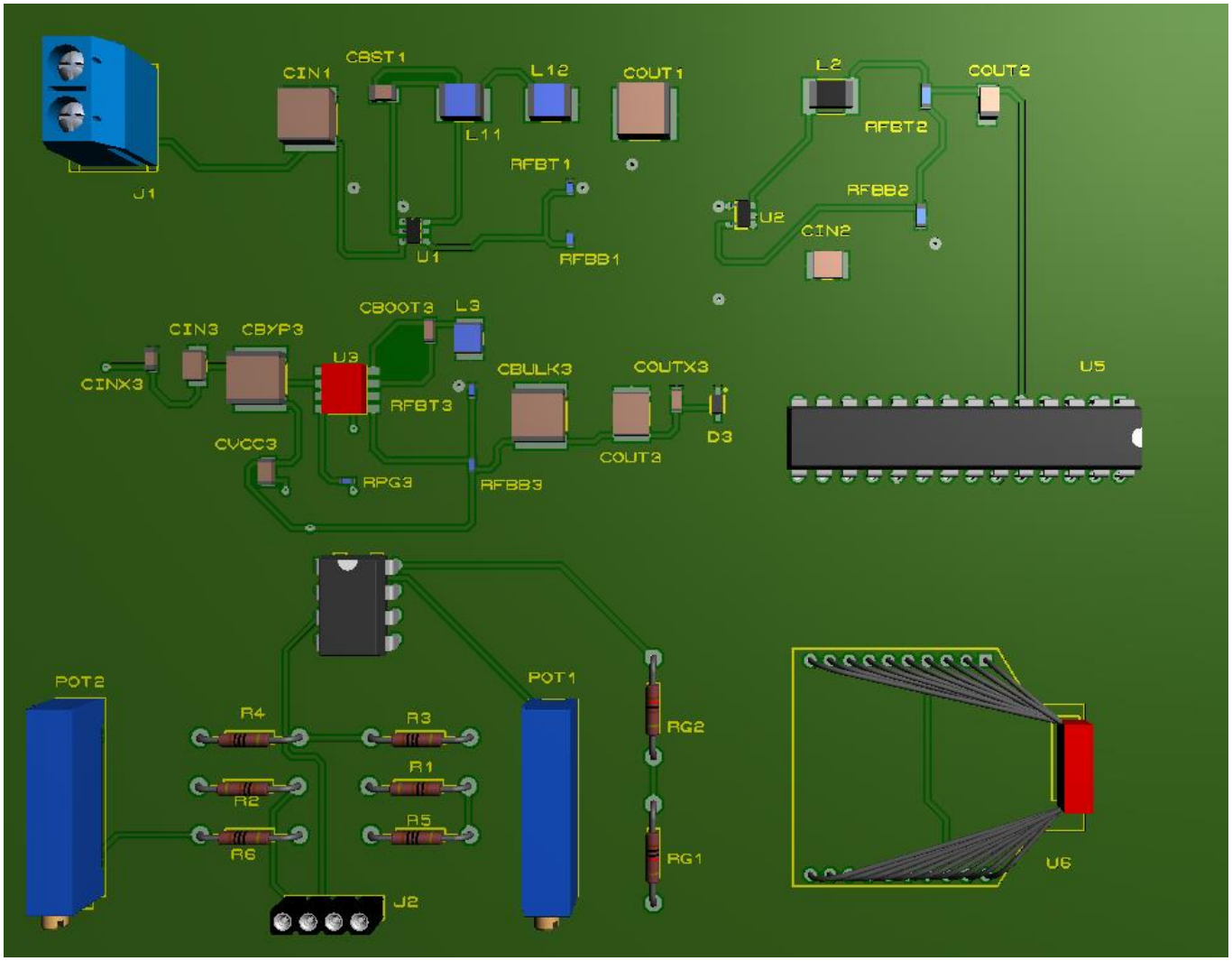


Figura 48: Vista tridimensional en planta de la placa con los componentes

7. Conclusiones

7.1 Consecución de los objetivos

En primer lugar, cabe destacar que los objetivos planteados en el inicio del proyecto han sido alcanzados. Se ha alcanzado el objetivo general de utilizar y relacionar todos los conocimientos, técnicas y habilidades adquiridas en los estudios del grado para la resolución de un problema singular. También se han ejercitado y mejorado las competencias de comunicación escrita, así como las más genéricas de identificación de los objetivos y su consecución, la resolución de problemas, el análisis de resultados, la emisión de conclusiones y la propuesta de ampliación en el futuro.
Asimismo, se han alcanzado todos los objetivos específicos del proyecto:

- Diseñar un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth.
- Diseñar fuentes de alimentación eficientes.
- Diseñar circuitos analógicos que realicen las funciones de amplificador, comparador y generador de señal.
- Diseñar los circuitos de adaptación de las entradas y salidas a nivel del microcontrolador.
- Programar procesadores digitales para el procesamiento de señales.

7.2 Análisis de la planificación y de la metodología

Al haberse alcanzado los objetivos planteados en el plazo estipulado, puede deducirse que la programación ha sido adecuada. La división del proyecto en tareas estancas y su previsión temporal, tanto en la duración de la propia tarea como en las fechas de consecución han sido correctas. Bien es cierto que no ha habido grandes imprevistos que perturbasen el desarrollo normal del proyecto.

En suma, después de varias semanas de trabajo en el proyecto se constata la importancia de realizar una planificación adecuada y de completar los hitos marcados. El éxito del proyecto lo marcan la división en tareas más elementales y el cálculo de horas de dedicación, así como la constancia y la existencia de una previsión de horas que permite compensar el tiempo dado en exceso a alguno de los trabajos.

Sin embargo, debe mejorarse la metodología utilizada hacia una mayor preparación en algunas de las herramientas de software, fundamentalmente en las de diseño de placas electrónicas. Es decir, insistir en el estudio y práctica de estas herramientas con suficiente antelación. En concreto, todas las horas sobrantes del proyecto han sido utilizadas para este fin, además de descartar uno de los programas por ser excesivamente diferente a lo acostumbrado y que requería demasiado tiempo de dedicación. No sería necesaria una preparación previa en las herramientas de simulación de circuitos electrónicos que ya hubiesen sido utilizadas en otras materias del grado.

El diseño del equipo electrónico fue divido en varias etapas que consistían en componer una parte elemental y autónoma del circuito, simularla y verificarla. Finalmente se ensamblaría todo el circuito y se constataría su funcionamiento óptimo.

El proceso se ha podido completar solo en parte porque el programa de simulación no dispone de los elementos necesarios aptos para la simulación en la librería, como son: el módulo Bluetooth, y los convertidores DC/DC. Sin embargo, cabe destacar que sí se ha podido verificar la comunicación del microcontrolador con el módulo y que se transmiten las instrucciones correctas. Además, se han podido simular online una a una las fuentes en la propia plataforma de diseño Webench.

Por tanto, aunque no fue posible una simulación con el circuito completo sí se puede constatar el funcionamiento óptimo del diseño realizado. Otro inconveniente lo ha producido el compilador XC8 al no permitir la compilación de los números de tipo *float*. Aunque no compromete la precisión mínima exigida podría ofrecerse la información de la temperatura con un decimal, puesto que el conversor A/D trabaja con 10 bits

7.3 Líneas de trabajo futuro

Existen varias líneas de trabajo que se pueden explorar en proyectos posteriores. Por ejemplo:

- Monitorizar más magnitudes físicas, tantas como entradas analógicas tiene el microcontrolador (posee cinco conversores A/D), como la humedad relativa o absoluta, la velocidad de un fluido, el contenido de oxígeno o cualquier otro gas en un recinto, la presión de un fluido, etc. Existen sensores para medir con precisión todas estas magnitudes así como muchas otras que fuesen de interés. También habría que implementar los circuitos de adaptación de señales necesarios para la monitorización de las magnitudes introducidas.
- Cambiar el módulo de comunicaciones por otro tipo de módulo de mayor alcance como 3G o LTE.
- Diseñar el equipo receptor de señal con el módulo Bluetooth y un microcontrolador que posteriormente la podría mostrar en un panel LED o procesarla en un PLC y gobernar los actuadores de una instalación industrial o domótica. También es posible gestionar la señal mediante el desarrollo de una aplicación para un smartphone, una tableta o un PC.
- El sistema monitoriza cada cierto tiempo la temperatura, tiempo determinado en la programación del microprocesador. Es posible cambiar el sistema de monitoreo por uno de espera activa gestionado por el sistema de interrupciones de la CPU que enviase la información cada vez que se produjese un flanco en la entrada.

8. Glosario

ADC (Analog/Digital Converter): Dispositivo electrónico que sirve para convertir una señal analógica (de tensión o de corriente) en una señal digital para facilitar su procesado, así como protegerla ante el ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

AO (Amplificador Operacional): dispositivo electrónico de alta ganancia, con una salida y dos entradas. Su impedancia de entrada es muy elevada, puede considerarse infinita.

Bluetooth: Especificación industrial para definir las redes inalámbricas de área personal (WPAN) creado por Bluetooth Special Interest Group INC, y que hace posible la trasmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia.

EDR (Enhanced Data Rate): Velocidad de datos mejorada.

Footprint: También llamado *land pattern* o huella, es la representación gráfica de los *pads* (conectores) de un componente electrónico como deben ir impresos en la tarjeta para que coincidan exactamente con sus respectivos terminales o superficies de conexión.

I2C (Inter-Integrated Circuit): es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Phillips Semiconductors.

Layout: La disposición del diseño de un circuito integrado en términos de topología física del chip, en oposición a su funcionamiento eléctrico, tal como se define en un esquema.

OEM (Original Equipment Manufacturer): Fabricante de Equipo Original.

PCB (Printed Circuit Board): Placa de circuito impreso. Soporte físico en donde se instalan componentes electrónicos y se interconectan entre ellos.

SPI (Serial Peripheral Interface): es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. La ventajas de un bus serie es que minimiza el número de conductores, pines y el tamaño del circuito integrado.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter): Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie asíncronamente. Los datos son transmitidos asíncronamente.

USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter): Transmisor-Receptor Síncrono/Asíncrono Universal. Dispositivo que controla los puertos serie de forma síncrona o asíncrona. De modo síncrono se transmite la señal de reloj con los datos.

9. Bibliografía

Bara Iniesta, Marc, “El amplificador operacional”, UOC. PID_00170130.

Beneito Montagut, Roser, “Presentación de documentos y elaboración de presentaciones”, UOC. P08/89018/00446.

Clarisó Viladrosa, Robert, “Introducción al trabajo final”, UOC. PID_00197259.

Rodríguez, José Ramón., “El trabajo final como proyecto”, UOC. PID_00197260.

Rodríguez, José Ramón, “La gestión del proyecto a lo largo del trabajo final”, UOC. PID_00197261.

Sáez, Nita; Vidal, Rut, “Redacción de textos científico-técnicos”, UOC. P08/89018/00445.

Satué Villar, Antonio, “Redes personales sin hilos”, UOC. PID_00158042

https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth. Último acceso 09-01-2021.

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/40048/fichero/VOLUMEN+1.+MEMORIA%252F4.+Tecnolog%C3%ADa+Bluetooth.pdf. Último acceso 09-01-2021

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo1.pdf. Último acceso 09-01-2021

https://refrinoticias.com/sistemas-de-refrigeracion-en-camiones/. Último acceso 09-01-2021

https://www.transportealdia.es/thermo-king-presenta-soluciones-inteligentes-futuro-del-transporte-refrigerado/. Último acceso 09-01-2021

https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/ResultadoBusquedaProductos.jsp?idIdioma=&idTienda=93&palabrasClave=m%F3dulo+bluetooth. Último acceso 09-01-2021

https://es.farnell.com/c/modulos-adaptadores-inalambricos/modulos-de-comunicaciones-red/modulos-adaptadores-bluetooth. Último acceso 09-01-2021

https://www.mouser.es/Microchip/Embedded-Solutions/Wireless-RF-Modules/Bluetooth-Modules-802151/_/N-6l7pg?P=1z0zl2wZ1yq53bf. Último acceso 09-01-021

https://es.rs-online.com/web/c/semiconductores/circuitos-de-microondas-y-radio-frecuencia/modulos-bluetooth/. Último acceso 09-01-2021

http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002280A.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4806937.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://es.wikipedia.org/wiki/RTD . Último acceso 09-01-2021.

http://oa.upm.es/10744/2/PFC_ANTONIO_ARTES_GARCIA.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_de_uni%C3%B3n_bipolar. Último acceso 09-01-2021.

https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-temperatura-con-resistencia-de-platino/4071387. Último acceso el 09-01-2021.

https://docs.rs-online.com/a7aa/0900766b8157a35c.pdf. Último acceso el 09-01-2021.

https://docs.rs-online.com/bfca/0900766b815e7664.pdf. Último acceso el 09-01-2021.

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm124-n.pdf?HQS=TI-null-null-digikeymode-df-pf-null-wwe&ts=1603041700017. Último acceso el 09-01-2021.

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm224.pdf?HQS=TI-null-null-digikeymode-df-pf-null-wwe&ts=1603043400333. Último acceso el 09-01-2021.

https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador. Último acceso el 09-01-2021.

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina827.pdf?ts=1603205555412&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. Último acceso el 09-01-2021.

https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/1445780/. Último acceso 09-01-2021.

https://docs.rs-online.com/5e8a/0900766b81382ce0.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Bluetooth/bluetooth_cr_UG-v1.0r.pdf. Último acceso 09-01-2021.

http://firteconline.com.ar/XC8/demo_XC8.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada#:~:text=Eficiencia%2C%20calor%2C%20y%20energ%C3%ADa%20disipada,energ%C3%ADa%20requerida%20por%20la%20carga. Último acceso 09-01-2021.

https://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/. Último acceso 09-01-2021.

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps560430.pdf?ts=1606133822824&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTPS560430%253FkeyMatch%253DTPS560430%2526tisearch%253DSearch-EN-everything%2526usecase%253DGPN. Último acceso 09-01-2021.

https://webench.ti.com/power-designer/switching-regulator/customize/30?noparams=0. Último acceso 09-01-2021.

https://webench.ti.com/power-designer/switching-regulator/customize/24?noparams=0. Último acceso 09-01-2021.

https://webench.ti.com/power-designer/switching-regulator/customize/34?noparams=0. Último acceso 09-01-2021.

http://www.farnell.com/datasheets/2174124.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://www.bourns.com/docs/Product-Datasheets/3005.pdf. Último acceso 09-01-2021.

https://es.rs-online.com/web/p/placas-matriz/5153301/. Último acceso 09-01-2021.

10. Referencias

[1] Satué Villar, Antonio, “Redes personales sin hilos”. PID_00158042. Pg. 19.

[2] Creus Solé, Antonio, “Instrumentación Industrial”, Octava edición Alfaomega Grupo Editor, México, septiembre 2010. ISBN: 978-607-707-042-9

[4] https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41cdkgNoC0L._AC_SY355_.jpg. Descargada 12-10-2020.

[5] https://sc01.alicdn.com/kf/H55ea32f8f8644c43801ec0750b4a448ao.jpg_350x350.jpg. Descargada el 12-10-2020.

[6] https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQ_nEzNZX-ueboHIP8vQkDtorvlTCBQceG2GQ&usqp=CAU. Descargada el 12-10-2020.

[7] https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51Xu0R%2BWy3L._SX342_.jpg. Descargada el 12-10-2020

[8] https://pygmalion.tech/wp-content/uploads/2019/09/LM35.png. Descargada el 12-10-2020.

[9] https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-temperatura-con-resistencia-de-platino/4071387. Descargada el 13-10-2020.

[10] https://docs.rs-online.com/a7aa/0900766b8157a35c.pdf. Descargado el 13-10-2020.

[11] https://docs.rs-online.com/bfca/0900766b815e7664.pdf. Descargado el 13-10-2020.

[12] https://image.slidesharecdn.com/arquitecturaharvardyvon-120906020159-phpapp01/95/arquitectura-harvard-y-von-neumann-5-728.jpg?cb=1346896985. Descargado el 19-10-2020.

[13] https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/6668876/. Descargado el 22-10-2020.

https://docs.rs-online.com/4d99/0900766b8114b762.pdf. Descargado el 28/12/2020.

https://docs.rs-online.com/4d99/0900766b8114b762.pdf. Descargado el 28/12/2020.

11. Anexos

11.1 Anexo 1: Valoración económica del equipo

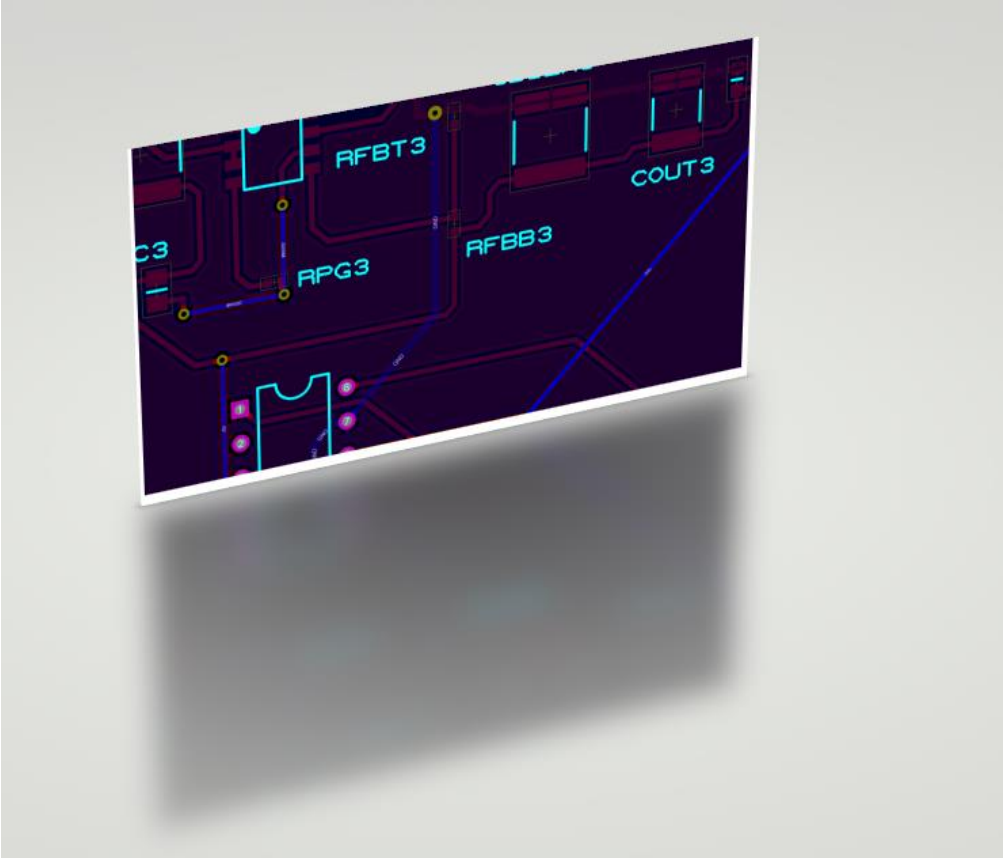
Valoración económica del equipo electrónico		
Nombre	Descripción del componente	PVP
U3	MÓDULO BLUETOOTH - RN41XVC - MICROCHIP	24,50
RTP	SONDA DE TEMPERATURA - PT100 RS PRO 2,5 m	43,50
U1	MICROCONTROLADOR - PIC16F873A - MICROCHIP	3,75
J1	CONECTOR HEMBRA 2 PIN 5mm -897-0803- RS PRO	0,36
J2	CONECTOR HEMBRA 4 PIN SAMTEC CES-104-01-T-S	3,15
	PLACA RE200-LFDS - ROTH ELEKTRONIK 100x160x1,5 [mm]	10,70
Circuito de adaptación de señal		
POT1	POTENCIÓMETRO 1KOhm – 3005 P-1-102 - BOURNS	7,49
POT2	POTENCIÓMETRO 100 Ohm – 3005 P-1-101 - BOURNS	7,49
U2	A.O. DE INSTRUMENTACIÓN INA122PA – TEXAS INSTRUMENTS	5,57
RG1	RESISTENCIA 10 K – 299-10K-RC – XICON	0,02
RG2	RESISTENCIA 1K2 – 299-1K2-RC - XICON	0,02
R2	RESISTENCIA 1 K – 299-1K-RC - XICON	0,02
R3	RESISTENCIA 1 K – 299-1K-RC - XICON	0,02
R6	RESISTENCIA 100 Ohm – 299-100-RC - XICON	0,02
R9	RESISTENCIA 100 Ohm – 299-100-RC - XICON	0,02
R10	RESISTENCIA 100 Ohm – 299-100-RC - XICON	0,02
R11	RESISTENCIA 100 Ohm – 299-100-RC - XICON	0,02
Fuente de alimentación de +5 V		
CIN1	CONDENSADOR 10 uF - CL32B106KBJNNWE - SAMSUNG	0,17
CBST	CONDENSADOR 100 nF – C0805C104M5RACTU - KEMET	0,01
COUT1	CONDENSADOR 22 Uf – TMK325B7226KMHP - TAIYO YUDEN	0,34
L1	INDUCTOR 13 Uh – 7447798131 - WURTH ELEKTRONIK	2,23
RFBB1	RESISTENCIA 13,7 K - CRCW040213K7FKED - VISHAY DALE	0,01
RFBT1	RESISTENCIA 100 K - CRCW0402100KFKED - VISHAY DALE	0,01
U4	CONVERTIDOR TPS54308DDCR – TEXAS INSTRUMENTS	0,48
Fuente de alimentación de +3,30 V		
CIN2	CONDENSADOR 4,7 uF – GRM155R61A475MEADD - MURATA	0,03
COUT2	CONDENSADOR 10 uF – GRJ155R60J106ME11D – MURATA	0,02
L2	INDUCTOR 2,2 uH – SDR0403-2R2ML – BOURNS	0,22
RFBB2	RESISTENCIA 100 K - CRCW0402100KFKED - VISHAY DALE	0,01

RFBT2	RESISTENCIA 453 K - CRCW0402453KFKED - VISHAY DALE	0,01
U6	CONVERTIDOR TLV62568DBVR – TEXAS INSTRUMENTS	0,08
Fuente de alimentación de -5 V		
CBOOT	CONDENSADOR 100 nF – CGA2B3X7R1H104K050BB – TDK	0,02
CBULK	CONDENSADOR 68 uF - C3216X5R1A686M160AC – TDK	0,51
CBYP	CONDENSADOR 10 uF – C3225X7R1H106M250AC - TDK	0,26
CIN3	CONDENSADOR 10 uF – C3225X7R1H106M250AC – TDK	0,28
CINX3	CONDENSADOR 100 nF – CGA2B3X7R1H104K050BB – TDK	0,02
COUT3	CONDENSADOR 22 uF – C1608X5R1A226M080AC – TDK	0,12
COUTX	CONDENSADOR 100 nF – GRM155R71C104KA88D – MURATA	0,01
CVCC	CONDENSADOR 10 uF – EMK107B7105KA-T – TAIYO YUDEN	0,02
D1	DIODO ZENER DB2S31600L – PANASONIC	0,03
L3	INDUCTOR 10 UH – SRR1208-100ML – BOURNS	0,45
RFBB3	RESISTENCIA 24,9 K – CRCW040224K9FKED – VISHAY DALE	0,01
RFBT3	RESISTENCIA 100 K – CRCW0402100KFKED – VISHAY DALE	0,01
RPG	RESISTENCIA 100 K – CRCW0402100KFKED – VISHAY DALE	0,01
U5	CONVERTIDOR LMR33630ARNXR – TEXAS INSTRUMENTS	0,75
	TOTAL (€)	**114,90**

Tabla 9: Valoración económica del equipo electrónico

Universitat Oberta de Catalunya

uoc.edu



Diseño de un supervisor remoto de temperatura vía Bluetooth

Alberto Naveira Rodríguez
Curso 2020-21 – 1º Semestre
Diseño de Sistemas Electrónicos