

**PROJECTE FINAL DE CARRERA**

*Sistema d'adquisició de temperatures  
de 2 canals via R.F.*

David Mercader i Farrés

**Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Electrònica Industrial**

Director de projecte: Agustí Rifà i Cayuela

Vic, Juny 2012



A la meva família,  
amb qui sempre  
puc comptar

# ÍNDIX

Resum .....	1
Abstract.....	2
Agraïments .....	3
Capítol -1 Introducció, objectius i esquema general.....	4
1.1 Introducció .....	4
1.2 Objectius.....	6
1.3 Esquema general.....	7
Capítol -2 Adquisició de temperatures.....	8
2.1 Mesura de temperatura, tipus de sensors .....	8
2.1.1 Sensors RTD.....	8
2.1.2 Sensors PTC/NTC .....	9
2.1.3 Sensors Termoparells .....	9
2.2 Tipus de Termoparells .....	10
2.2.1 Termoparells d'ús general .....	10
2.2.2 Termoparells d'ús específic.....	11
2.3 Comparativa entre la sensibilitat de resposta.....	12
2.3.1 Càlcul de la sensibilitat dintre el rang de T <sup>a</sup> utilitzat .....	13
2.4 Exactitud en la mesura dels diferents termoparells .....	14
2.4.1 Taula d'exactitud dels diferents termoparells .....	14
2.5 Elecció tipus de termoparell a utilitzar .....	15
2.5.1 Selecció encapsulat del termoparell .....	15
2.5.1.1 Encapsulat amb junta d'unió sense protecció .....	15
2.5.1.2 Encapsulat amb junta d'unió connectada al terra ..	16
2.5.1.3 Encapsulat amb junta d'unió aïllada. ....	16
2.5.2 Elecció de encapsulat del termoparell .....	17
2.6 Funcionament dels Termoparells .....	17
2.6.1 Voltatge de Seebeck.....	17
2.6.2 Temperatura de la unió freda .....	20
2.6.3 Com mesurar la temperatura de la unió freda.....	22
2.6.3.1 Com compensar la unió freda en el sistema .....	22
Capítol -3 Hardware i Software del sistema .....	23
3.1 Selecció dels components principals .....	23
3.1.1 Integrat AD594 .....	23
3.1.1.1 Funcionament intern del AD594.....	24
3.1.2 Senyal d'alarma .....	25
3.2 Esquema de blocs del hardware d'adquisició .....	26

3.3	Circuit d'adquisició, condicionament del senyal.....	26
3.3.1	Amplificador operacional sumador .....	26
3.3.2	Amplificador operacional inversor.....	28
3.3.3	Hardware d'alimentació de la placa.....	29
3.4.	Microcontrolador .....	30
3.4.1	Característiques principals .....	31
3.4.2	Convertidor analògic / digital .....	32
3.4.2.1	Funcionament SAR.....	33
3.4.2.2	Error de quantificació .....	35
3.4.2.3	Salt de quantificació .....	35
3.4.2.4	Error Convertidor analògic digital .....	36
3.4.2.5	Exactitud del nostre sistema .....	36
3.4.2.6	Salt de quantificació utilitzat en el SW de PC ..	37
3.5	Software del microcontrolador .....	38
3.5.1	Entrades del microcontrolador .....	38
3.5.2	Sortides del microcontrolador .....	39
3.5.2.1	Contingut de la trama.....	39
3.5.3	Configuració principals registres utilitzats.....	40
3.5.3.1	Bits de configuració.....	40
3.5.3.2	Registres de configuració dels ports .....	40
3.5.3.3	Registres de configuració del convertidor A/D ...	41
3.5.3.4	Registres de configuració de la UART .....	42
3.5.3.5	Registre de configuració del Timer-0 .....	45
3.5.4	Programació i gravació del microcontrolador.....	47
3.5.4.1	Configuració inicial .....	48
3.5.4.2	Inicialitzacions programa.....	49
3.5.4.3	Rutina Interrupció Timer 0.....	50
3.5.4.4	Rutina del cicle de main .....	51
3.5.4.5	Rutina Adquisició.....	52
3.5.4.6	Rutina generar trama a enviar per l'USART.....	53
3.5.4.7	Rutina enviar trama per l'USART .....	54
3.5.4.8	Rutina tractament d'errors.....	56
3.5.4.9	Rutina espera 1 segon .....	57
3.6	Programa de visualització i emmagatzematge de dades .....	58
3.6.1	Resum del funcionament del programa.....	58
3.6.1.2	Formulari d'entrada de dades.....	58
3.6.2.3	Formulari principal .....	59
3.6.2.4	Pantalles d'error del sistema .....	60
3.6.2.5	Finalització de la prova .....	61
3.6.2	Seqüència de funcionament del programa .....	62
3.6.2.1.	Inicialitzacions i tractament de dades .....	62
3.6.2.2	Procés utilitzat per descodificar la temperatura rebuda .....	63
3.6.2.3	Presentació valors rebuts .....	65

3.7 Mòdul RF .....	66
3.7.1 - Unitat transmissora de RF .....	66
3.7.2 - Unitat receptora de RF .....	67
Capítol -4 Placa circuit imprès d'adquisició .....	68
4.1 - Condicions de disseny .....	68
4.2 - Material i mides .....	68
4.3 - Fabricació circuit imprès.....	69
4.3.1 - Insolar .....	69
4.3.2 - Revelat + mecanitzat .....	69
4.3.3 - Muntatge .....	70
4.4 - Versions de PCB .....	71
4.5 - Embalatge final de la PCB .....	72
4.5.1-Connexionat dels termoparells amb el sistema d'adquisició.....	72
Capítol -5 Resultats finals del projecte .....	74
5.1 - Assajos realitzats a la càmera climàtica d'Elausa .....	74
5.1.1 - Característiques principals càmera climàtica .....	74
5.1.2 - Funcionament.....	75
5.2 - Calibratge del sistema i proves realitzades.....	76
5.2.1 - Assaig de calibratge realitzat .....	76
Conclusions finals.....	80
Possibles millores del sistema.....	81
Valoració personal.....	83
Bibliografia.....	84
Annex.....	86

## Resum del Treball Final de Carrera Enginyeria Tècnica Industrial. Especialitat en Electrònica Industrial

**Títol:** Sistema d'adquisició de temperatures de 2 canals via R.F.

**Autor:** David Mercader

**Paraules clau:** Adquisició de dades, temperatura, termoparell, transmissió de dades.

**Direcció:** Agustí Rifà

**Avalador:** Ramon Reig

**Data:** Juny de 2012

**Resum:**

Poder mesurar i enregistrar diferents tipus de magnituds com pressió, força, temperatura etc. s'ha convertit en una necessitat per moltes aplicacions actuals. Aquestes magnituds poden tenir procedències molt diverses, tals com l'entorn, o poden ser generades per sistemes mecànics, elèctrics, etc.

Per tal de poder adquirir aquestes magnituds, s'utilitzen els sistemes d'adquisició de dades. Aquests sistemes, prenen mostres analògiques del món real, i les transformen en dades digitals que poden ser manipulades per un sistema electrònic.

Pràcticament qualsevol magnitud es pot mesurar utilitzant el sensor adient. Una magnitud molt utilitzada en sistemes d'adquisició de dades, és la temperatura. Els sistemes d'adquisició de temperatures estan molt generalitzats, i podem trobar-los com a sistemes, on l'objectiu és mostrar les dades adquirides, o podem trobar-los formant part de sistemes de control, aportant uns inputs necessaris per el seu correcte funcionament, garantir-ne l'estabilitat, seguretat etc.

Aquest projecte, promogut per l'empresa Elausa, s'encarregarà d'adquirir, el senyal d'entrada de 2 Termoparells. Aquests mesuraran temperatures de circuits electrònics, que es trobaran dintre la càmera climàtica de Elausa, sotmesos a diferents condicions de temperatura, per tal de rebre l'homologació del circuit.

El sistema haurà de poder mostrar les dades adquirides en temps real, i emmagatzemar-les en un PC que estarà ubicat en una oficina, situada a uns 30 m de distància de la sala on es farà el test.

El sistema constarà d'un circuit electrònic que adquirirà, i condicionarà el senyal de sortida dels termoparells, per adaptar-lo a la tensió d'entrada d'un convertidor analògic digital, del microcontrolador integrat en aquesta placa. Seguidament aquesta informació, s'enviarà a través d'un mòdul transmissor de radiofreqüència, cap al PC on es visualitzaran les dades adquirides.

Els objectius plantejats són els següents:

- Dissenyar el circuit electrònic d'adquisició i condicionament del senyal.
- Dissenyar, fabricar i muntar el circuit imprès de la placa d'adquisició.
- Realitzar el programa de control del microcontrolador.
- Realitzar el programa per presentar i desar les dades en un PC.
- El sistema ha d'adquirir 2 temperatures, a través de Termoparells amb un rang d'entrada de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+240^{\circ}\text{C}$
- S'ha de transmetre les dades via R.F.

Els resultats del projecte han estat satisfactoris i s'han complert els objectius plantejats.

**Abstract of Graduation project**  
**Enginyeria Tècnica Industrial. Especialitat en Electrònica Industrial**

**Title:** Temperature acquisition system of 2 channels via R.F. transmission data

**Author:** David Mercader

**Key words:** Data acquisition, temperature, thermocouple, radio transmission data.

**Guidance:** Agustí Rifà

**Guarantor:** Ramon Reig

**Date:** June 2012

**Abstract:**

Measure and register different magnitude types such as, pressure, force, temperature etc. has become a necessity for much kind of currently applications. These magnitudes could come from different sources, such as the real world, or they could be generated from mechanical, electrical systems etc.

In order to measure and register the value of these magnitudes, data acquisition systems are used. These systems take analog samples from the environment, and transform them to digital data in order to be processed by an electronic system.

Using the correct sensor, almost every environment magnitude could be measured. Of all this magnitudes, one of the mainly used in data acquisition systems, is temperature. Temperature data acquisition systems could be final systems, with the main target of showing acquired data, or they could be a part of a control system, with the target of giving acquired data as a system input in order to control, or permit the correct system performance.

This project is promoted by Elausa, an electronics design and manufacturing company, and its target is acquiring the electrical signal input of 2 thermocouples. These thermocouples will measure the temperature of electronic devices located inside a climatic camera of this company, and they will be involved into different temperature conditions. This system has to show acquired data in real time, and save this data in a PC. This PC will be located in a room outside the place where the test will be done, at a distance of 30m.

This system, will have an electronic circuit that will acquire and adapt the input thermocouples signals, to the input range of the digital to analog microcontroller converter, which will be integrated in the acquisition PCB. The next point will be to send this data from a R.F. transmission module, to a personal computer.

The main target of this project is:

- Design the hardware that could acquire, and adapt input data.
- Design and build the acquisition PCB.
- Design the software of the microcontroller.
- Design PC software.
- The system has to acquire 2 temperature magnitude using thermocouples sensors, with a temperature range from -40°C to +240°C.
- Acquired data should be transmitted via R.F.

Project results have been satisfied and proposed objectives have been fulfilled.



## Agraïments:

Aquest projecte no s'hauria pogut tirar endavant, sense l'ajuda dels enginyers d'Elausa, els quals, davant de qualsevol dubte, m'indicaven cap a on havia de buscar, per trobar la resposta.

El meu agraïment a tots ells, i en especial a l'Agustí Rifà, director del projecte, a en Carles Casademont, i a l'avalador del projecte i professor de la Universitat de Vic, en Ramon Reig.

Per últim, vull agrair a l'empresa Elausa per deixar-me utilitzar les seves instal·lacions, i a tothom que d'una forma o altra m'hagi ajudat en la realització d'aquest projecte.

# Capítol 1 Introducció, objectius i esquema general

## 1.1 Introducció

Els sistemes d'adquisició de dades, són sistemes molt utilitzats en la nostra societat. S'utilitzen en àmbits tant diferents com, la medicina, la indústria, o la competició, per citar-ne algun exemple.

L'objectiu inicial d'aquest projecte, era realitzar un sistema de telemetria per un kart de competició. Aquests vehicles, poden utilitzar sistemes d'adquisició de dades tipus datalogger, en el qual mentre el vehicle es troba circulant, el sistema emmagatzema dades en una memòria, que posteriorment es descarrega i es visualitzen els diferents canals adquirits en un PC. Per reglament no està permès sistemes d'adquisició de dades en temps real (telemetria) i degut a això no existeixen sistemes d'aquest tipus específics per karts. L'idea era, realitzar un sistema d'adquisició de dades en temps real, que permetés visualitzar des d'un PC, els diferents paràmetres adquirits, tals com: velocitat instantània, revolucions per minut del motor, o temperatura de l'aigua del motor.

A l'entrar a treballar a Elausa, abans de començar el projecte final de carrera, se'm va oferir la oportunitat de realitzar el projecte a l'empresa, fora de les hores de treball. Al comentar a Elausa, la idea que tenia, els hi va semblar una proposta interessant i es va trobar una aplicació en el departament de proves+homologacions. En aquest departament, entre altres feines, es realitzen proves sota diferents condicions amb circuits que estan pendents d'homologar. Aquestes proves poden ser molt diverses, com proves de compatibilitat electromagnètica, proves de resistència de components, proves de funcionament a diferents temperatures etc. La finalitat de les proves és assegurar que les plaques, que surten d'Elausa, compliran els estàndards requerits per la seva homologació, de tal forma que quan s'envien a empreses externes encarregades d'homologar-les oficialment, aquestes passin la prova al primer intent i d'aquesta forma estalviar el temps i l'elevat cost de tenir que repetir l'homologació.

El projecte que ens ocupa està orientat a una part d'aquestes proves que es realitzen a Elausa, concretament a proves de funcionament sota diferents condicions de temperatura. Per portar a terme aquestes proves, s'utilitza la càmera climàtica d'Elausa, càmera que pot arribar a  $-40^{\circ}\text{C}$  de temperatura mínima i a  $+150^{\circ}\text{C}$  de temperatura màxima. Durant la prova a part de comprovar el correcte funcionament del circuit electrònic sotmès a aquestes condicions, també s'ha de conèixer la temperatura a la que treballen certs components crítics. Durant aquestes proves, s'ha d'assegurar que els diferents components treballen dintre d'un rang de temperatures de seguretat, segons marca el datasheet del fabricant i segons norma IPC-9592, de tal forma que conèixer les temperatures obtingudes durant la prova, és un paràmetre necessari. Per tal de conèixer i enregistrar aquestes temperatures, s'utilitza un sistema d'adquisició de dades. El sistema d'adquisició que s'utilitza actualment, és un datalogger amb hardware i software comercial sense possibilitats de personalitzar-lo, que emmagatzema les dades en una memòria interna, i posteriorment es descarreguen a un PC, on es visualitzen una vegada acabada la prova.

La millora que Elausa tenia pensada per aquest sistema coincidia bastant en idea que tenia per el meu projecte, i es va decidir fer una adaptació per tal de convertir la idea

inicial en un projecte útil i viable per Elausa, per utilitzar-lo per el responsable del departament de proves.

El sistema dissenyat consta de les parts que es detallaran a continuació, i que s'explicaran en els capítols corresponents de forma detallada.

Després de la introducció, en el capítol 2 s'explicaran els diferents tipus de sensors i formes d'adquirir temperatures, així com el principi de funcionament d'un termoparell i com s'ha de tractar el senyal de sortida del termoparell per tal de poder fer una mesura correcta del valor de temperatura.

En el tercer capítol, s'explicarà de què consten les diferents parts de hardware i software del sistema, que es resumeixen a continuació.

.- Hardware d'adquisició

El sistema que es dissenyarà constarà de un circuit electrònic format per 2 termoparells que proporcionaran els senyals d'entrada del sistema. Aquests senyals s'adaptaran per tal de que la temperatura mínima de  $-40^{\circ}\text{C}$  i la màxima de  $+240^{\circ}\text{C}$  correspongui al rang de tensions de 0 a 5V, per tal de poder tractar-los en el convertidor analògic/digital del microcontrolador utilitzat. Seguidament les dades s'enviaran a través del port de sortida del microcontrolador cap a un mòdul de transmissió RF.

.- Software d'adquisició.

El microcontrolador que formarà part del hardware d'adquisició, tindrà com a funcions principals, fer la conversió analògica-digital del senyal adaptat de les 2 entrades dels termoparells, gestió d'errors, control dels leds indicadors, o enviar la trama amb les dades. Aquestes funcions es veuran amb més detall en l'apartat de software del capítol 3.

.- Mòdul de transmissió RF.

Cal destacar que aquest mòdul no es dissenyarà en aquest projecte, sinó que s'utilitzarà un mòdul ja existent. La seva funció serà la d'enviar les trames del microcontrolador a un receptor de RF connectat amb un PC a través del port RS232.

.- Presentació de les dades / Software PC.

Es dissenyarà un programa amb visual basic 6.0, que tractarà les dades enviades pel microcontrolador, i les presentarà gràficament per pantalla en temps real, i emmagatzemarà aquestes dades en un fitxer d'excel.

Al Capítol 4 s'explicarà el disseny i fabricació de la placa de circuit imprès utilitzada en el projecte, des del seu disseny utilitzant el software per PC, PCAD2002, fins al procés de insolat i revelat de la placa, així com problemes detectats en la primera versió fabricada, material utilitzat etc.

Al Capítol 5 s'explicaran els resultats obtinguts i els assajos portats a terme en el departament de proves i homologacions d'Elausa, i el funcionament de la càmera climàtica entre d'altres.

A la part final de la memòria hi ha la Bibliografia amb referència a les fonts de consulta utilitzades, les quals provenen en la seva gran majoria de pàgines web, i en aquest punt s'inclouran les direccions de les pàgines utilitzades, i al llarg del text, en diferents punts es farà referència sobre la procedència de certa informació, tal com fórmules, taules o diferents dades concretes.

Finalment per a concloure la memòria s'utilitzarà l'annex per incloure informació addicional del projecte, tal com taules d'excel utilitzades per la conversió de temperatures, fragments de datasheet dels principals components, cost total del sistema, codi del programa del microcontrolador realitzat en assemblador, codi del programa del PC realitzat en visual basic 6.0, etc.

## 1.2 Objectius

Un dels primers punts que s'han de tenir en compte alhora d'iniciar un projecte, són els objectius que volem aconseguir. Aquests objectius s'han fixat segons les demandes dels enginyers d'Elausa que utilitzaran aquest sistema.

Els objectius i les condicions de disseny del sistema són bàsicament les següents:

- El sistema ha d'adquirir 2 temperatures.
- El rang de mesura del sistema ha d'anar dels -40°C fins als +240°C
- L'exactitud del sistema ha de ser de 3°C d'error màxim en la mesura.
- El sistema ha de poder enviar en temps real les adquisicions fetes a la sala de proves, cap a un PC situat a la oficina tècnica.
- El sistema ha de mostrar una gràfica on fàcilment es pugui observar el comportament dels components que s'estan analitzant.
- El sistema ha d'emmagatzemar les dades en un arxiu en format excel per poder tractar fàcilment les dades posteriorment.
  
- El sistema ha de mostrar un senyal d'alarma, al PC on es visualitza l'adquisició en temps real, mostrant un indicador verd en cas que tot funcioni correctament, o mostrar un missatge amb la descripció de l'error ocorregut en cas de:
  - Error en les comunicacions via RF.
  - Error en algun dels 2 canals adquirits.
- El sistema s'ha de poder alimentar des de un punt de red de 230v 50Hz.
- El sistema ha de poder adquirir fins 8h hores de test.
- El sistema s'ha de poder parar i guardar el registre en qualsevol moment que l'usuari ho sol·liciti.
- Els termoparells han de ser fàcilment intercanviables en cas de que es produeixi una ruptura o funcionament erroni.

## 1.3 Esquema general

Per tal de complir amb els objectius demanats, necessitarem un sistema compost per unes parts que podem resumir en el següent esquema de blocs:

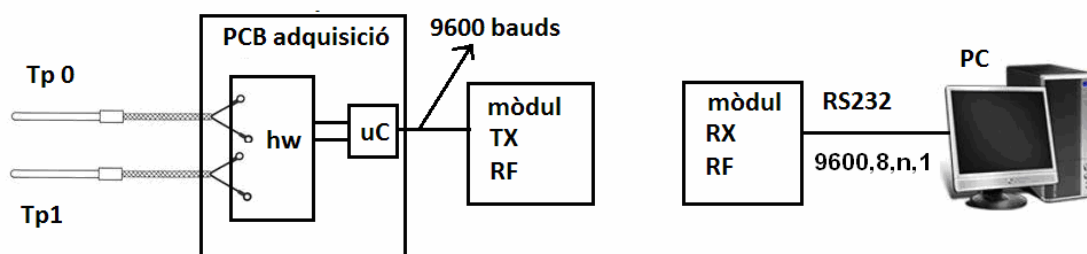


Fig. 1.3.1 Blocs que componen el sistema

En l' anterior esquema hi apareixen els següents elements:

- TP0 i TP1 són els 2 termoparells que donaran un senyal elèctric continu.
- HW: és la part de hardware del sistema que adaptarà aquests senyals a la tensió d'entrada del convertidor analògic digital del microcontrolador.
- uC: és el microcontrolador que convertirà el senyal analògic en digital i enviarà les dades cap al mòdul d'RF.
- mòdul TX RF: és el mòdul que transmetrà les dades que provenen del microcontrolador, cap al mòdul receptor de RF.
- mòdul RX RF: és el mòdul que rebrà el senyal RF i l'enviarà cap a un PC amb format sèrie (rs232).
- PC: mostrarà les dades per pantalla i les emmagatzemarà en un fitxer en format .xls.

## Capítol 2 Adquisició de temperatures

### 2.1 Mesura de temperatura, tipus de sensors

Un dels objectius d'aquest projecte és mesurar temperatures. Podem considerar la temperatura com, el promig de la mesura de l'energia cinètica, de les partícules en una mostra de matèria. La temperatura es pot expressar en graus o en qualsevol escala estàndard. Per mesurar aquesta magnitud, es poden utilitzar diferents sensors com per exemple RTDs, termistors o termoparells.

Qualsevol d'aquests sensors, ens permeten transformar la magnitud temperatura d'un medi, en un senyal de tensió elèctrica.

Existeixen diferents tipus de sensors, però no tots es comporten d'igual forma, sinó que cada un té els seus avantatges i els seus inconvenients que els fan adequats per uns tipus d'aplicacions determinades.

Passem a veure de forma resumida, les principals característiques d'aquests diferents tipus de sensors de temperatura.

#### 2.1.1 Sensors RTD

Els sensors RTD, varien la seva resistència en funció de la temperatura que se'ls aplica. Estan fabricats en coure, níquel o platí depenent de l'exactitud demandada.

Els seus principals avantatges són:

- Exactitud molt elevada, de fins 0,03°C en els RTD's de més qualitat.
- Resposta lineal davant de variacions de temperatura.
- Tenen una sensibilitat molt elevada. La seva variació en resistència és de  $\sim 200 \Omega/^{\circ}\text{C}$ , lo que pot donar una variació de tensió en fins a 10 vegades més gran que la donada per un termoparell.
- A diferència dels termoparells no és necessària la compensació de la temperatura de referència.

Els principals desavantatges per el nostre sistema són:

- Cost elevat comparat amb termistors o termoparells.
- Resposta lenta davant de canvis de temperatura.
- La seva mesura es pot veure afectada pel seu auto escalfament.
- Volum i massa més elevat que en un termoparell.
- Menys resistents davant de cops que un termoparell.

## 2.1.2 Sensors PTC o NTC

Són sensors que igual que els sensors RTD varien la seva resistència en funció de la temperatura aplicada. Estan fabricats en òxid fèrric, òxid de níquel, o òxid de cobalt. Aquests sensors es comporten de forma oposada en funció de si són PTC o NTC, de tal forma que mentre els PTC incrementen la resistència davant de variacions de temperatura, els NTC la redueixen.

Aquests sensors presenten diferents característiques on igual que en l'anterior cas les resumirem en avantatges i inconvenients.

Els principals avantatges són:

- Cost reduït
- Ample marge de mesures (-100°C a +300°C)
- Indicats per aplicacions que requereixen una resposta molt lenta del sensor.

Els principals desavantatges per al nostre sistema són:

- Tenen una resposta molt lenta davant de canvis de temperatura.
- Resposta molt poc lineal.
- Poc indicats per aplicacions que precisen d'una resposta ràpida.

## 2.1.3 Sensors Termoparells

Degut a les seves característiques, els termoparells s'utilitzen en aplicacions tant diverses com en la mesura de temperatures en criogènics, o en la mesura de la temperatura del sistema d'escapament de turbines utilitzades en motors d'avions a reacció.

Els termoparells presenten com a principals avantatges:

- Baix cost
- Mida reduïda
- Resposta ràpida davant de variacions de temperatura
- Bona estabilitat en la mesura en funció del temps d'ús
- Ample rang de temperatures suportades

Com a principals desavantatges presenten:

- Exactitud en la mesura ( +/- 1.5°C ) (excepte termoparells especials)
- Resposta no lineal.
- Necessitat de compensar la diferència de temperatura de la unió freda.
- Baixa resolució V/°C de l'ordre de microvolts (41µV/°C en tipus k).

Si tenim en compte les característiques dels 3 tipus de sensors vistos anteriorment ens quedaríem amb els termoparells.

El principal desavantatge respecte els RTDs, està en l'exactitud de la mesura, tot i que per l'exactitud requerida pel nostre sistema, són suficientment precisos. Altres inconvenients com la resposta no lineal, la necessitat de compensar la unió freda o la baixa resolució, no representen un problema, però sí que suposen un increment en la complexitat del hardware / software a dissenyar. A canvi, ens aporten avantatges importants com, el seu baix cost, la ràpida resposta davant de canvis de temperatura, la seva mida compacta, robustesa etc.

Ja que els termoparells són els sensors escollits per mesurar temperatures en el nostre sistema, anem a veure quins tipus de termoparells existeixen i quin tipus pot adaptar-se millor al nostre objectiu.

## 2.2 Tipus de termoparells

Hi ha diferents tipus de termoparells en funció de l'aplicació on s'utilitzaran, que depenen principalment de les següents característiques:

- Rang de temperatures suportat
- Sensibilitat de resposta.
- Cost

Aquestes característiques són determinants per a seleccionar-los en una aplicació concreta. Els principals tipus de termoparells són els següents: dividits en els d'ús general i els específics.

### 2.2.1. Termoparells d'ús general

Els termoparells estàndard són els més utilitzats. Reuneixen una bona relació qualitat preu, que juntament amb les seves variades característiques els fa aptes per a pràcticament qualsevol aplicació.

Tot seguit passem a veure quins són aquests termoparells i quines són les seves principals característiques.

Termoparells tipus K:

- Material: Ni-Cr / NiAl (Crom/alumini).
- Rang de T<sup>a</sup> de -200°C a +1372°C
- Sensibilitat de 41 µV/° C.
- Altres característiques:
  - Baix cost
  - Gran varietat de tipus de sondes
  - Bona resistència a l'oxidació per sota de +600°C.

Termoparells tipus E:

- Material: Crom / Constantan (Cu-Ni)
- Rang de temperatura: -270°C, +1000°C
- Alta sensibilitat 68 µV/° C.
- Altres característiques:
  - Ideals per utilitzar a baixes temperatures en l'àmbit criogènic.

Termoparells tipus J:

- Material: Ferro / Constantan:
- Rang de temperatures segons fabricant: -270°C, 1000°C
- Sensibilitat: 52 µV/° C
- Altres característiques:
  - Rang de temperatures recomanat\*: -40°C a +750°C degut a l'oxidació del ferro superades aquest rang.
  - Baix cost



#### Termoparells tipus N:

- Material: Ni-Cr-Si/ Ni-Si (Nicrosil, Nisil).
- Rang de temperatures: - 270°C A +1.300°C.
- Sensibilitat: 36  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Altres característiques:
- Indicats per mesures d'alta temperatura.
- Gran estabilitat a elevades temperatures.
- Resistència a l'oxidació a altres temperatures.
- Cost reduït

#### Termoparells tipus T:

- Material: Coure – Constantan
- Rang de temperatures -200° C a + 350° C.
- Sensibilitat de 43  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
- Altres característiques:
  - Comportament molt estable dintre el rang de utilització.
  - Forta oxidació per sobre de 350°C.
  - Alta resistència a l'oxidació sota de 350°C

### 2.2.2. Termoparells d'ús específic

També existeixen termoparells especials com els tipus B, S, R constituïts per materials nobles i consegüentment d'alt cost que s'utilitzen generalment per mesurar temperatures altes, (superiors a 300°C), els quals no s'adapten a les característiques que necessitem per la nostra aplicació:

#### Termoparells tipus B:

- Material: Platí (Pt)- Rodi (Rh).
- Rang temperatures: 0- 1.800°C.
- Sensibilitat: 10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Altres característiques:
  - Cost elevat
  - Ideal per mesurar altes temperatures fins a 1.300°C.
  - Presenten la mateixa resposta entre 0°C i 42°C.

#### Termoparells tipus S:

- Material: Platí (Pt)- Rodi (Rh)
- Rang de temperatures: -50°C, 1760°C
- Sensibilitat 10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Altres característiques:
- Cost elevat
- Baixa sensibilitat

#### Termoparells tipus R:

- Material: Platí (Pt)- Rodi (Rh)
- Rang de temperatures: -50°C, 1760°C
- Sensibilitat 10  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Altres característiques:
- Cost molt elevat
- Baixa sensibilitat
- Elevada estabilitat.

- S'utilitzen per calibrar el punt de fusió de l'or a una temperatura de 1064,43°C.

### 2.3. Comparativa entre la sensibilitat de resposta

Seguint amb l'anàlisi per comprovar quins termoparells s'adaptarien més bé en el nostre sistema, en la següent gràfica podem observar la variació en tensió que tenen aquests termoparells, davant de diferents rangs de temperatures.

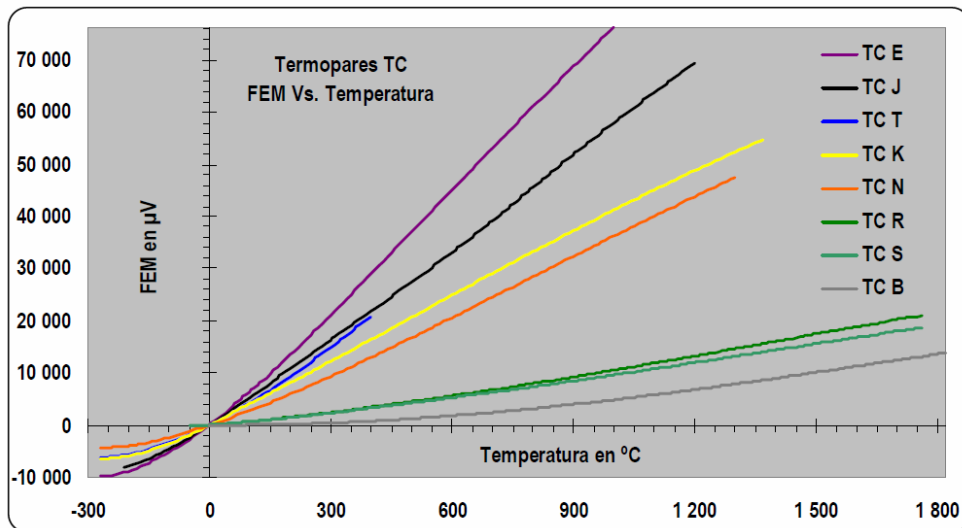


Fig. 2.3.1. Gràfica sensibilitat de resposta en la sortida dels diferents tipus de termoparells.

Tal i com s'ha vist anteriorment, en les característiques dels termoparells, en la gràfica veiem com els termoparell tipus E, T, K i N, per aquest ordre, són els que presenten una sensibilitat més alta, o sigui més variació de voltatge davant de canvis de temperatura, mentre que els tipus R, S i B són els que presenten menys sensibilitat.

A part de la sensibilitat, observant el gràfic també veiem un punt important a l'hora d'escollir un tipus o altre de termoparell, la linealitat de resposta.

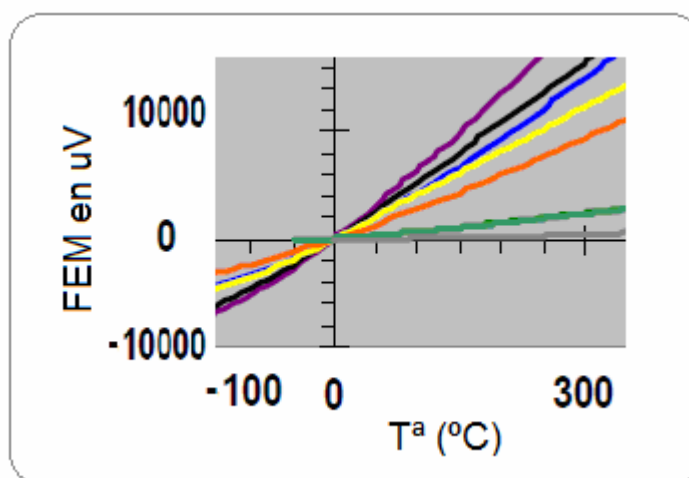


Fig. 2.3.2. Gràfiques de sensibilitat en el rang de temperatura utilitzat

Mentre que els termoparells tipus E, J, K, i N es mostren bastant lineals durant tot el rang de temperatures que ens interessen, el tipus T mostra poca linealitat a partir de 150°C.

Els tipus S,R,B, tenen una sensibilitat molt baixa la zona de temperatures que ens interessa (-40°C a +240°C), i no es mostren adequats per mesurar temperatures inferiors als 300°C.

A continuació, veurem una gràfica que ens mostra el valor de sortida de tensió de cada tipus de termoparell, en funció de la temperatura.

		TYPE 'T' Cu-CuNi	TYPE 'E' NiCr-CuNi	TYPE 'J' Fe-CuNi	TYPE 'K' NiCr-NiAl	TYPE 'N' NiCrSi-NiSi	TYPE 'S' PtRh10%-Pt	TYPE 'R' PtRh13%-Pt	TYPE 'B' PtRh30%-PtRh6%
Tolerances	Standard	±0°C or ±0.75%	±1.7°C or ±0.5%	±2.2°C or ±75%	±2.2°C or ±75%	±2.2°C or ±75%	±1.5°C or ±25%	±1.5°C or ±25%	±0.5% Over 800°C
	Special	±0.5°C or ±0.4%	±1°C or ±0.4%	±1.1°C or ±0.4%	±1.1°C or ±0.4%	±1.1°C or ±0.4%	±.6°C or ±0.1%	±.6°C or ±0.1%	±0.25% Over 800°C
TEMPERATURE °C	-100	-3.379	-5.237	-4.633	-3.554	-2.407	-	-	-
	0	0	0	0	0	0	0	0	0.033
	100	4.279	6.319	5.269	4.096	2.774	0.646	0.647	0.178
	200	9.228	13.421	10.799	8.138	5.913	1.441	1.469	0.431
	300	14.862	21.036	16.327	12.209	9.341	2.323	2.401	0.787
	400	20.872	28.946	21.848	16.397	12.974	3.259	3.408	1.242
	500		37.005	27.393	20.644	16.748	4.233	4.471	1.792
	600		45.093	33.102	24.905	20.613	5.239	5.583	2.431
	700			39.132	29.129	24.527	6.275	6.743	3.154
	800			45.494	33.275	28.455	7.345	7.95	3.957
	900				37.326	32.371	8.449	9.208	4.834
	1000				41.276	36.256	9.587	10.506	5.78
	1100				45.119	40.087	10.757	11.85	6.786
	1200				48.838	43.846	11.951	13.228	7.311
	1250				50.644	45.694	12.554	13.926	7.848
	1300				52.41	47.513	13.159	14.629	8.956
1400						14.373	16.04	10.099	
1500						15.582	17.451	11.263	
1600								12.433	

Taula. 2.3.1. Nivells de sortida de tensió (V) dels termoparells, en el rang de temperatures utilitzat.

Anteriorment hem vist els valors en uV de la sensibilitat facilitada pels fabricants dels diferents tipus de termoparells. A continuació, utilitzant els valors de la taula 2.3.1, comprovarem que aquests nivells de sensibilitat també es donen en el nostre rang de temperatures.

### 2.3.1 Càlcul de la sensibilitat dintre el rang de temperatures utilitzat:

Els fabricants de termoparells ens donen la sensibilitat que té cada tipus de termoparell, però ho donen durant tot el rang d'utilització del termoparell, el qual és molt més extens que el rang que ens interessa a nosaltres. La sensibilitat podria variar en el nostre rang de temperatures, si el comportament del termoparell no és lineal dintre d'aquest rang. Per aquest motiu, comprovarem quina és la sensibilitat dels diferents termoparells en unes temperatures de -100 a -300°C, mostra representativa de les temperatures que volem adquirir. Per obtenir la sensibilitat dintre el rang de temperatures escollit, calcularem les diferències entre la temperatura màxima i mínima en funció dels valors compresos en la mostra escollida.

Tipus T = [(uV a -100°C) – (uV a 300°C)] / (nº valors) = 18.240 uV / 400 = 45,6 uV / °C

Tipus E =[(uV a -100°C) – (uV a 300°C)] / (nº valors) = 26.273 uV / 400 = 65.68 uV / °C

Tipus J = [(uV a -100°C) – (uV a 300°C)] / (nº valors) = 20.960 uV / 400 = 52.40 uV/°C

Tipus K= [(uV a -100°C) – (uV a 300°C)] / (nº valors) = 15.763 uV / 400 = 39.40u V/°C

Tipus N= [(uV a -100°C) – (uV a 300°C)] / (nº valors) = 11,748 uV / 400 = 29.37u V/°C

Si ens fixem en la variació que els diferents termoparells presenten de -100°C a + 300°C, veiem que el tipus E i tipus J són els que presenten un valor més elevat, coincidint amb bastant exactitud amb els valors subministrats pels fabricant al llarg de tota l'excursió de temperatures que pot assolir el termoparell.

## 2.4 Exactitud en la mesura dels diferents termoparells

### 2.4.1. Taula d'exactitud en la mesura dels diferents termoparells.

En la següent taula podem veure l'exactitud en la mesura que té cada tipus de termoparell en els diferents rangs de temperatura que abasten, segons la norma estàndard UNE-EN 60584-1 (toleràncies aplicables segons norma UNE-EN 60584-2).

TIPUS TERMOPARELL	Tolerància 1	Tolerància 2	Tolerància 3
<b>TIPUS T</b>			
Gama de T <sup>a</sup>	-40°C a +125°C	-40°C a +133°C	-67°C a +40°C
Valor de tolerància	±0.5°C	±1°C	±1°C
Gama de T <sup>a</sup>	+125°C a +350°C	+133°C a +350°C	-200°C a -67°C
Valor de tolerància	±0.0004 t	±0.0075 t	±0.015 t
<b>TIPUS E</b>			
Gama de T <sup>a</sup>	-40°C a +375°C	-40°C a +333°C	-167°C a +40°C
Valor de tolerància	±1.5°C	±2.5°C	±2.5°C
Gama de T <sup>a</sup>	+375°C a +800°C	+333°C a +900°C	-200°C a -167 °C
Valor de tolerància	±0.0004 t	±0.0075 t	±0.015 t
<b>TIPUS J</b>			
Gama de T <sup>a</sup>	-40°C a +375°C	-40°C a +333°C	
Valor de tolerància	±1.5°C	±2.5°C	
Gama de T <sup>a</sup>	+375°C a +750°C	+333°C a +800°C	
Valor de tolerància	±0.0004 t	±0.0075 t	
<b>TIPUS K, N</b>			
Gama de T <sup>a</sup>	-40°C a +375°C	+40°C a +333°C	-167°C a +40°C
Valor de tolerància	±1.5°C	±2.5°C	±2.5°C
Gama de T <sup>a</sup>	+375°C a +1000°C	+333°C a +1200°C	-200°C a -167 °C
Valor de tolerància	±0.0004 t	±0.0075 t	±0.015 t

Taula. 2.4.1 Toleràncies dels principals termoparells, segons norma EN 60584-2

TIPUS TERMOPARELL	Tolerància 1	Tolerància 2	Tolerància 3
<b>TIPUS R, S</b>			
Gama de T <sup>a</sup>	0°C a +1100°C	0°C a +600°C	
Valor de tolerància	±1°C	±1.5°C	
Gama de T <sup>a</sup>	+1100°C +1600°C	<sup>a</sup> +600°C a +1600°C	
Valor de tolerància	±[1+0.003(t-1100)]	±0.0025 t	
<b>TIPUS B</b>			
Gama de T <sup>a</sup>			+600°C a +800°C
Valor de tolerància			±4°C
Gama de T <sup>a</sup>		+600°C a +1700°C	+800°C a +1700°C
Valor de tolerància		±0.0025 t	±0.005 t

Taula. 2.4.2 Continuació taula toleràncies dels principals termoparells, segons norma EN 60584-2

## 2.5 Elecció tipus de termoparell a utilitzar

Veient les característiques anteriorment vistes, ens decidirem per utilitzar termoparells de tipus J, de tolerància -1. (class. 1)

El motiu, apart de un baix cost, és que presenten una bona sensibilitat (V/°C), s'ajusten al nostre rang de temperatura, i presenten una corba bastant lineal, i el seu error en la mesura és acceptable per la nostra aplicació.

Un altre punt important que tenim en compta, és que són els termoparells utilitzats a Elausa en mesures de temperatura a la càmera climàtica, i donen un funcionament, i durabilitat satisfactori.

### 2.5.1 Selecció encapsulat del termoparell

Un cop seleccionat el tipus de termoparell "J", per el nostre sistema, ens falta triar quin tipus d'encapsulat volem.

Passem a veure amb quins tipus d'encapsulat estan disponibles els termoparells.

#### 2.5.1.1 Encapsulat amb junta d'unió sense protecció

Tal i com podem observar en el següent model, el punt d'unió del termoparell està a l'aire:

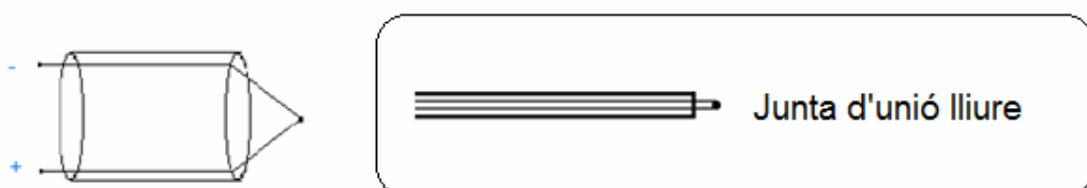


Fig. 2.5.1 Junta termoparell d'unió lliura.

Aquest tipus d'encapsulat, presenta com a principals característiques:

- El termoparell presenta contacte directe amb la superfície o medi a mesurar.
- Els cables s'aïllen entre si a través d'un tub que pot estar fabricat en material ceràmic o per un recobriment fibrós.
- Màxima exactitud en la mesura.
- Ràpid temps de resposta.
- Per evitar la ràpida oxidació del termoparell, aquest no pot veure's afectat químicament per l'atmosfera de l'entorn on s'utilitza.

### 2.5.1.2 Encapsulat amb junta d'unió connectada al terra

Els extrems del termoparell es connecten directament a la carcassa que el protegeix:

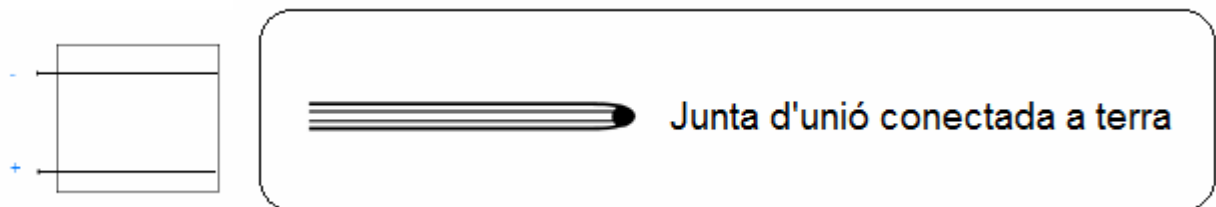


Fig. 2.5.2 Junta termoparell connectada a terra

Aquest tipus d'encapsulat, presenta com a principals característiques:

- Els cables estan soldats directament a un extrem de l'encapsulat.
- La seva construcció és més simple que en els termoparells aïllats.
- El seu temps de resposta és més lent que en els termoparells amb junta d'unió sense protecció.
- Indicat si s'utilitza en ambients amb atmosferes que puguin afectar l'oxidació del material del termoparell.
- Indicat es mesuren temperatures extremadament altes ( $>800^{\circ}\text{C}$ )
- La seva exactitud en la mesura de la temperatura depèn del gruix i de la connectivitat tèrmica de l'encapsulat.

### 2.5.1.3 Encapsulat amb junta d'unió aïllada.

El punt d'unió del termoparell no està connectat amb la carcassa:

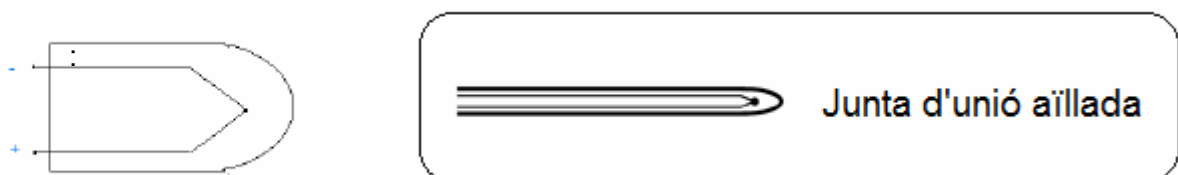


Fig. 2.5.3 Junta termoparell d'unió aïllada

Aquest tipus d'encapsulat, presenta com a principals característiques:

- El circuit del termoparell està aïllat del terra.
- La seva velocitat de resposta és menor que amb l'encapsulat de junta connectada al terra.
- Indicat si s'utilitza en ambients amb atmosferes que puguin afectar l'oxidació del material del termoparell.
- Indicat es mesuren temperatures extremadament altes ( $>800^{\circ}\text{C}$ )
- La seva exactitud en la mesura de la temperatura depèn del gruix i de la connectivitat tèrmica de l'encapsulat.

## 2.5.2 Elecció de encapsulat del termoparell

En el nostre cas, escollirem el primer tipus de termoparell, amb el punt d'unió sense protecció, tenint en compte l'ús que li donarem presenta les següents característiques:

- Rang de temperatures de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+240^{\circ}\text{C}$
- L'atmosfera del lloc de la prova no presenta complicacions davant l'oxidació del material del termoparell.
- Precisem de tenir una resposta ràpida davant de canvis de temperatura.
- No connectarem els termoparells a cap punt que no estigui lliure de potencial.



Fig. 2.5.4 Termoparell tipus J amb junta d'unió lliure

Un cop escollit el termoparell a utilitzar, passem a veure quin funcionament tenen els termoparells, i així veure quin hardware necessitem per poder adquirir i tractar el seu senyal.

## 2.6. Funcionament dels termoparells.

### 2.6.1 El voltatge de Seebeck

El funcionament bàsic dels termoparells va ser descobert per Thomas Johann Seebeck al 1821.

Seebeck descriu el funcionament d'un termoparell basant-se en que, el nombre d'electrons lliures en una peça de metall depèn en primer lloc, de la composició del metall, i en segon lloc de la temperatura a la que està exposada aquesta metall.

Si considerem petits increments de temperatura, la resposta pràcticament és lineal en funció de l'increment de la temperatura, i pot expressar-se com:

$$\Delta V = S\Delta T \quad (2.6.1)$$

on l'increment de tensió és igual al producte de l'increment de temperatura per el coeficient de Seebeck del material.

Així que, si unim dos metalls diferents, i apliquem una font de calor en el punt d'unió d'aquests 2 metalls, degut a la diferent naturalesa del seu material, reaccionaran de diferent forma davant del canvi de temperatura provocat per la font de calor, donant voltatges de Seebeck diferents, i com a resultat obtindrem una diferencia de tensió, en circuit obert. ( $V_{AB}$ ).

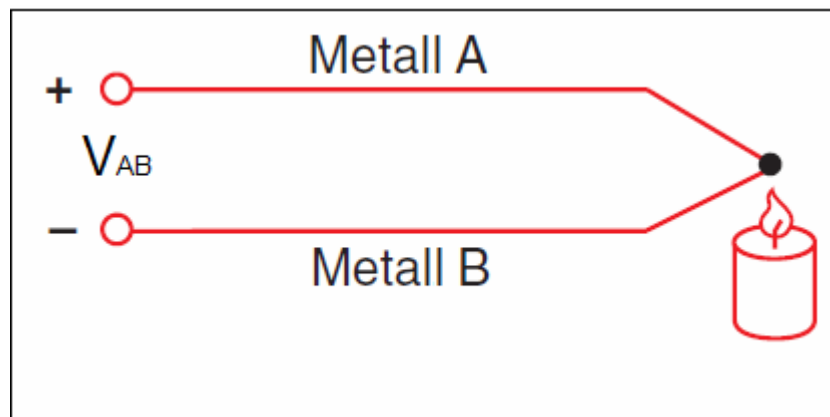


Fig. 2.6.1. Esquema bàsic del funcionament d'un termoparell

Si volem mesurar la temperatura proporcionada per un termoparell en el punt de calor, no podem simplement connectar un aparell de mesura en els extrems del termoparell com en la següent figura.

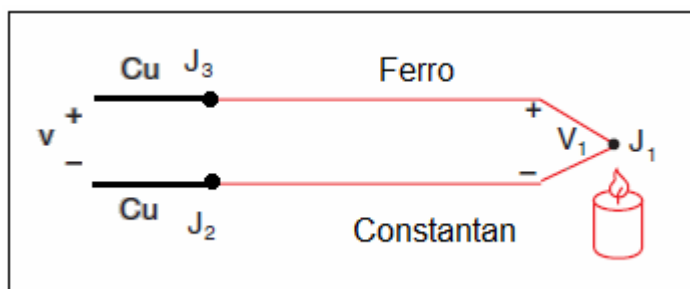


Fig. 2.6.2. Comportament d'un termoparell, amb aparell de mesura connectat

Del circuit de la figura 2.6.2, la temperatura de la unió J1, és la temperatura que es vol mesurar. Al connectar el termoparell a l'aparell de mesura, els cables d'aquest queden connectats als cables de coure que van cap a l'aparell.



Com a resultat, es generen 3 unions diferents: J1,J2,J3 com veiem a la figura 2.6.2.

- J1 genera un voltatge de Seebeck proporcional a la temperatura de la font de calor.
- J2 i J3 tenen el seu propi coeficient de Seebeck i generen el seu propi voltatge, que es proporcional a la temperatura en que es troben els terminals de coure del sistema d'adquisició de dades.

El nostre objectiu està en mesurar la temperatura de la unió J1, però no podem saber la temperatura d'aquesta si no coneixem les temperatures de J2 i J3.

Per poder calcular, les temperatures J2 i J3, podem utilitzar una característica dels termoparells que es coneix com la llei dels metalls entremitjos que ens simplificarà els càlculs, i que consisteix en el següent:

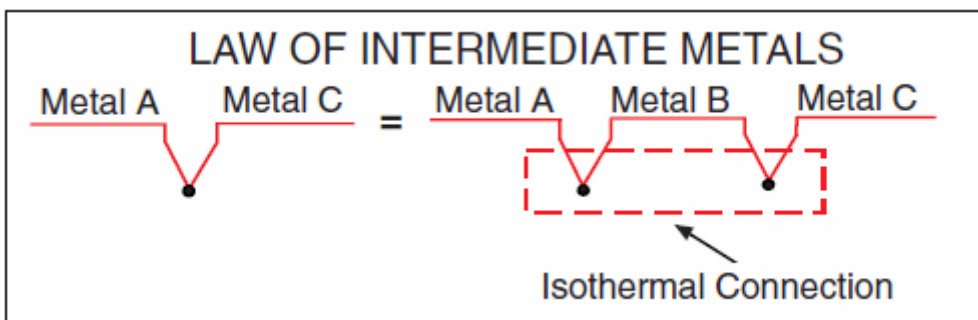


Fig. 2.6.3. Llei dels metalls entremitjos

Si tenim 2 cables de metalls A i C, podem inserir qualsevol tipus de cable entremig dels 2 anteriors, sense que tingui efecte en la sortida, sempre i quan els terminals del cable afegit estiguin en la mateixa temperatura, dintre la mateixa zona isotèrmica.

El circuit resultant d'aplicar la llei dels metalls entremitjos, seria el següent:

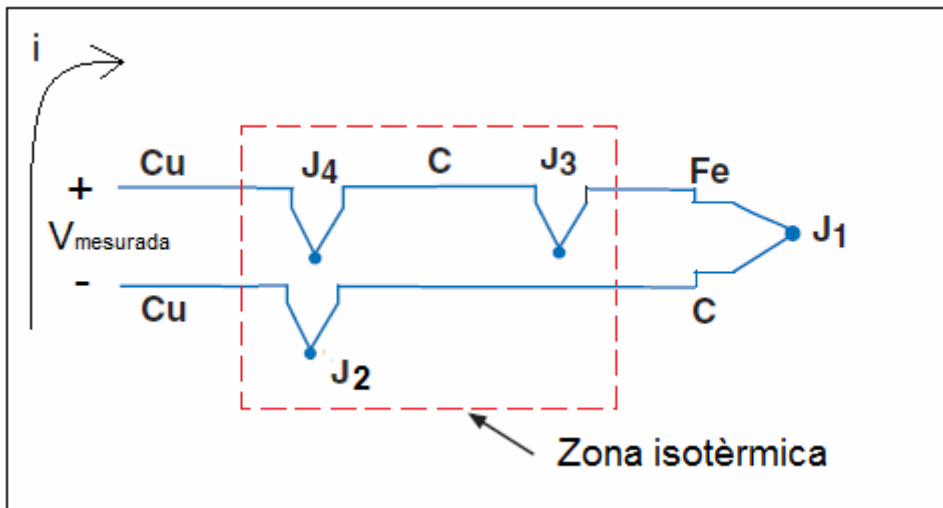


Fig 2.6.4. Circuit termoparell tipus J resultant a l'aplicar la llei dels metalls entremitjos

Ens queda un circuit en que la unió J2 i la unió J4, estan compostes pels mateixos materials, Ferro i Constantan, i es troben dintre la mateixa regió, a la mateixa temperatura. Així que aquestes 2 unions, J2 i J4, contribueixen amb un voltatge de

Seebeck igual, cada un, però de signe oposat degut a que el corrent que circula a través d'ells és de sentit oposat. Com a conseqüència, els voltatges es contraresten i la seva aportació és nul·la.

El circuit resultant, que podem veure en la figura 2.6.4, únicament es compon de 2 unions. J1 i J3, compostes pels mateixos materials: Ferro i Constantan, però que generen voltatges de Seebeck de magnitud diferent.

L'objectiu és conèixer la temperatura T1 (temperatura en el punt J1). Per conèixer aquesta temperatura necessitem complir la següent expressió:

$$V_{\text{mesurada}} = V_{J1}(T^{\text{a}}_{\text{tp}}) + V_{J3}(T^{\text{a}}_{\text{ref}}) \quad (2.6.2)$$

$V_{J1}(T^{\text{a}}_{\text{tp}})$ , correspon al voltatge de Seebeck que aporta el termoparell, a la temperatura que es troba el mateix termoparell. És la magnitud que volem mesurar, per tant és un paràmetre desconegut.

$V_{J3}(T^{\text{a}}_{\text{ref}})$ , correspon al voltatge de Seebeck aportat per el punt J3 que es troba a la temperatura de referència, o zona d'unió freda. És un paràmetre desconegut.

$V_{\text{mesurada}}$  és la tensió de sortida que ens dóna el termoparell sense compensar la unió freda.

No podem determinar la temperatura en el punt J1, si desconeixem la temperatura en J3, amb lo qual necessitem referenciar J3 a la temperatura de la unió freda.

## 2.6.2 Temperatura de la unió freda

La següent figura, descriu el circuit del termoparell resultant d'haver aplicat la llei dels metalls entremiçs i d'haver eliminat les unions amb nul·la aportació de voltatge de Seebeck, J2 i J4. Les unions resultants J1 i J3 les expressem com a T1 i T3, per referir-nos a elles com a temperatures.

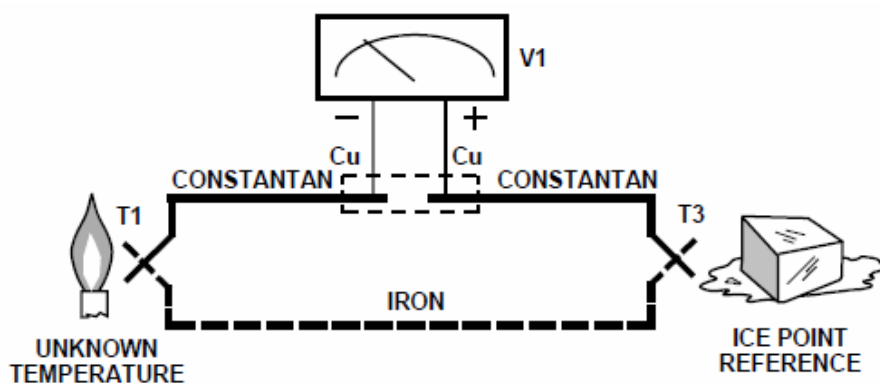


Fig. 2.6.4. Circuit termoparell tipus K resultant amb 2 unions i punt de unió freda.

Si ens fixem en la temperatura T3, ens apareix el concepte de “referència de punt de gel” o també coneguda com temperatura de la unió freda.

Aquesta temperatura T3, té especial importància ja que, la diferència de tensió obtinguda d'un termoparell no pot provenir de 2 fonts desconegudes, sinó que una de les 2 fonts té que estar referenciada.

Tal i com ens indica el gràfic, la temperatura T1 (temperatura que mesurem) és desconeguda, mentre que la temperatura T2 fa referència a la temperatura en que l'aigua canvia d'estat, de líquid a sòlid (0°C).

Aquesta temperatura T2 és important perquè la resposta en tensió d'un termoparell no és totalment lineal davant de variacions de temperatura i el fabricant subministra unes taules on mostra quin nivell de tensió correspon a diferents variacions de temperatura, i aquestes taules estan definides amb la temperatura T2 fixada a 0°C, tal i com podem veure a continuació amb un fragment de la taula del fabricant d'un termoparell tipus J.

TABLE 7 Type J Thermocouple— thermoelectric voltage as a function of temperature (°C); reference junctions at 0 °C												
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Thermoelectric Voltage in Millivolts												
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431	-40
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961	-30
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482	-20
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	20
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	30
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	40

Taula 2.6.1. Mostra d'una taula de tensions de sortida de termoparells tipus J, amb t<sup>o</sup> de la unió freda referenciada a 0°C

Aquest punt, ens implica que per mesurar la temperatura proporcionada per un termoparell, no podem connectar el termoparell directament a una entrada analògica d'un microcontrolador, únicament adaptant la tensió de sortida del termoparell a l'entrada del microcontrolador, ja que el microcontrolador, transformarà les variacions de tensió del termoparell a uns valors de temperatura que no es coincidirán als valors caracteritzats a la taula proporcionada per el fabricant del termoparell, al no haver compensat la temperatura de la unió freda.

Així que necessitem un “sistema” que permeti conèixer aquesta temperatura.

## 2.6.3 Com mesurar la temperatura de la unió freda

Un sistema bàsic seria el mostrat en la figura 2.6.5:

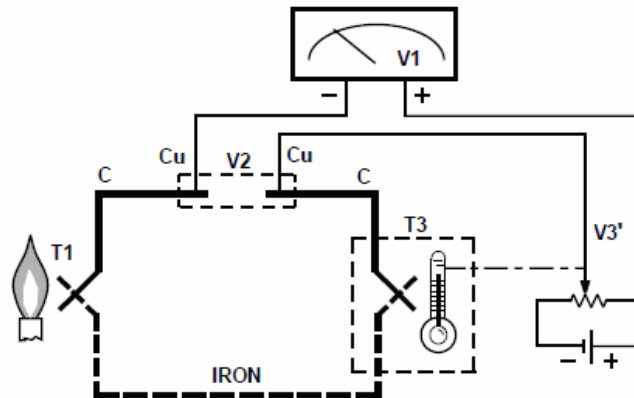


Fig.2.6.5. Esquema sobre per compensar l'aportació de voltatge de la unió freda quan és diferent de 0°C

Bàsicament seria el mateix que el mostrat en el gràfic de la figura anterior, però tenint en compte que en l'ús real d'un termoparell, la temperatura en la unió T3, correspon a la temperatura ambient de la l'habitació o indret on realitzem la mesura, i és molt probable que no estigui a 0°C tal i com estava T2 en el gràfic anterior, sinó que és una temperatura variable.

El gràfic mostra un sistema per compensar la variació de temperatura de la unió freda T3. Aquest consisteix en mesurar directament la temperatura en la que està T3, de forma molt precisa. Llavors, i en funció de la desviació d'aquesta temperatura respecte els 0°C referenciats, compensar-la a través la introducció d'una tensió d'offset, per tal contrarestar el nivell de tensió de Seebeck residual que aporta la unió T3 a l'estar a una temperatura diferent als 0°C.

### 2.6.3.1 Com compensar la unió freda en el sistema

Per tal de poder realitzar aquesta compensació podríem fer-ho a través de hardware discret, on necessàriament utilitzar un sistema de mesura extern d'alta precisió i haver de gestionar l'increment o decrement de la tensió d'offset en funció de si la temperatura de  $T3 > 0$ , o  $T3 < 0$ , amb amplificadors d'instrumentació.

El desavantatge d'utilitzar la solució discreta, és l'elevat nombre de components que cal utilitzar que afecten a la tolerància total del sistema. Tanmateix, els amplificadors utilitzats haurien d'estar molt ben compensats en temperatura.

S'ha optat per utilitzar un integrat específic per treballar amb termoparells tipus J.

Aquest integrat és un sol dispositiu i pel fet d'estar pensat per utilitzar en termoparells, ja té una tolerància definida i coneguda, tant en el punt de calibratge a 25°C, com en la desviació per variació de temperatura d'ús.

Buscant dispositius que realitzin aquesta funció, s'opta per utilitzar un AD594 del fabricant Analog Devices. Aquest integrat està especialment dissenyat per a compensar el punt de unió freda i és el que utilitzarem pel nostre sistema, i els veurem amb més detall en el capítol 3.

## Capítol 3 Hardware i Software del sistema

El sistema es compon de 2 sensors d'entrada, termoparells tipus J, un circuit d'adquisició, compost per una font d'alimentació que a partir d'una entrada de 220v proporciona els senyals necessaris pel funcionament del sistema, uns integrats AD594CQ per compensar el punt d'unió freda i amplificar el senyal dels termoparells, una circuiteria discreta per adaptar el senyal de sortida del AD594 al rang de tensió d'entrada del uC. El sistema també es compon d'un microcontrolador PIC18F1220, amb convertidor analògic digital, port USART etc.

### 3.1 Selecció dels components principals

En l'apartat anterior hem explicat que els sensors que mesurarien les temperatures del nostre sistema serien 2 termoparells Tipus J. Per poder adquirir i processar correctament el senyal de tensió subministrat pels termoparells necessitem un integrat capaç de compensar la temperatura de la unió freda, i realitzar una primera amplificació del senyal de l'ordre de microvolts entregat pels termoparells.

#### 3.1.1 Integrat AD594

El AD594 és un amplificador d'instrumentació i un compensador de la temperatura de la unió freda. Està especialment dissenyat per a termoparells tipus J i és capaç d'amplificar el senyal en microvolts que dona el termoparell, a uns 10 milivolts/°C.

Aquest integrat garanteix un funcionament estable amb els següents errors:

- Error de calibratge a 25°C de +/- 1°C
- Error d'estabilitat enfront temperatura de +/- 0.6°C, (entre 0 i 50°C de tª ambient).

Entrant amb més detall amb la utilització d'aquest integrat, si ens fixem en la figura 14, extret del datasheet del fabricant de l'AD594:

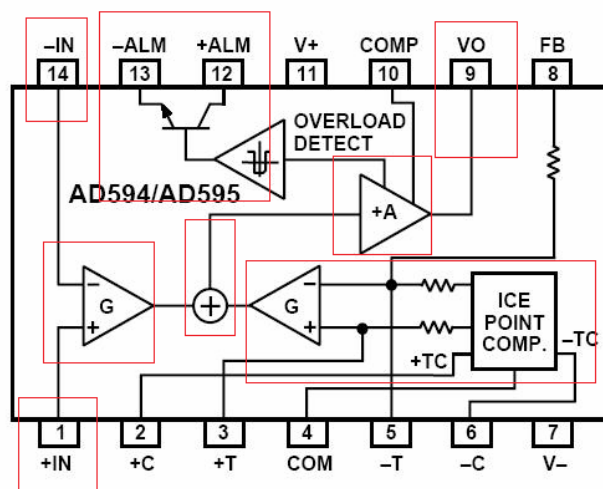


Fig. 3.1.1. Esquema de blocs interns del AD594

Per entendre el seu funcionament ens ajudarem de l'esquema de la figura 3.1.1.

### 3.1.1.1 Funcionament intern del AD594

El senyal del termoparell entra per els pins 1 i 14. Aquest senyal s'amplifica a través d'un operacional, i al senyal resultant se li suma una tensió d'offset, en funció de la temperatura de la unió freda del termoparell, calculada a través d'un sensor de temperatura intern que incorpora l'AD594. En realitat l'AD594 no mesura la temperatura de la unió freda del termoparell, sinó que mesura la temperatura a la que es troba el propi integrat. Per evitar error en la mesura, és important que la temperatura en la que es troba la borna positiva i la borna negativa on connectarem el termoparell amb el nostre sistema, es trobin a la mateixa temperatura. És important connectar els cables de sortida del termoparell de la forma més directa possible per evitar problemes. Per últim, amplifica el senyal un cop més, i obtenim la sortida pel pin 9.

L'AD594, tal i com hem comentat, ofereix la compensació de voltatge en funció de la temperatura a la que es trobi la unió freda, i al mateix temps amplifica la tensió de sortida del termoparell (de l'ordre de microvolts a milivolts), però degut a que el comportament del termoparell no és lineal, la resposta de l'AD594 tampoc és lineal. D'aquesta forma és necessària una taula que ens permeti linealitzar la resposta de sortida per tal de poder adquirir les lectures precises.

Segons el datasheet del fabricant, s'ofereix una taula que especifica quina sortida de tensió obtindrem del AD594, en funció de la tensió de sortida del termoparell "tipus J" utilitzat, tal i com podem veure en la següent taula on visualitzem únicament amb el rang de temperatures que utilitzarà el nostre sistema:

**Output Voltage vs. Thermocouple Temperature**

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV
-40	-1.960	-376
-20	-.995	-189
-10	-.501	-94
0	0	3.1
10	.507	101
20	1.019	200
25	1.277	250
30	1.536	300
40	2.058	401
50	2.585	503
60	3.115	606
80	4.186	813
100	5.268	1022
120	6.359	1233
140	7.457	1445
160	8.560	1659
180	9.667	1873
200	10.777	2087
220	11.887	2302
240	12.998	2517

Taula. 3.1.1. Nivell de sortida del AD594 en funció de la temperatura i de la sortida del termoparell tipus J.

Com podem veure, el fabricant ens dona la taula amb salts de temperatura de 20°C en alguns punts i de 5 i 10°C en d'altres. En el nostre sistema tenim definit en

especificacions que el la temperatura s'ha de presentar en salts de 1°C, per tant no ens serveix aquesta taula.

Haurem de generar una taula amb diferències d'1°C. Per tal de generar-la, necessitarem:

- a- Taula de sortida del termoparell tipus J que ens facilita el fabricant calibrada a 0°C.
- b- Fórmula de transferència per determinar la sortida del AD594, que ens facilita el fabricant del AD594 en el datasheet del dispositiu.

Disposant d'aquest material, podem generar la taula, inclosa en l'annex, amb salts de 1°C a través de la següent fórmula:

$$AD594\ out = (Vout\ Termoparell + 16\mu V) \times 193.4 \quad (3.1.1)$$

D'aquesta forma, amb un fitxer d'Excel on prèviament s'hauran entrat les temperatures de sortida des de -40°C a +240°C del termoparell tipus J, obtindrem la relació entre el nivell de tensió subministrat per l'AD594, i la temperatura. Aquesta relació no serà suficient per poder adquirir la temperatura, ja que aplicant aquesta fórmula, únicament obtenim la taula-4 amb els salts de temperatura de grau en grau que ens interessa. Per tal d'adaptar el senyal al rang de tensions de l'entrada del microcontrolador, ens faltará hardware adicional que veurem en l'apartat 2.3.

### 3.1.2 Senyal d'alarma

Continuant amb el AD594, un altre punt interessant pel que s'escull aquest integrat és que incorpora un senyal d'alarma per detectar un error en el termoparell, tant si hi ha una borna desconnectada, o trencada, com totes dues.

Aquesta prestació ens interessa, ja que un dels requisits demanats és poder indicar un possible error en el funcionament dels termoparells. Aquest senyal d'alarma és una sortida de col·lector d'un transistor que actua com a interruptor.

Perquè el sistema funcioni, és necessari utilitzar un pull up, connectat al pin 12 del AD594, i a una entrada digital del microcontrolador, tal i com observem en la figura 3.1.2.

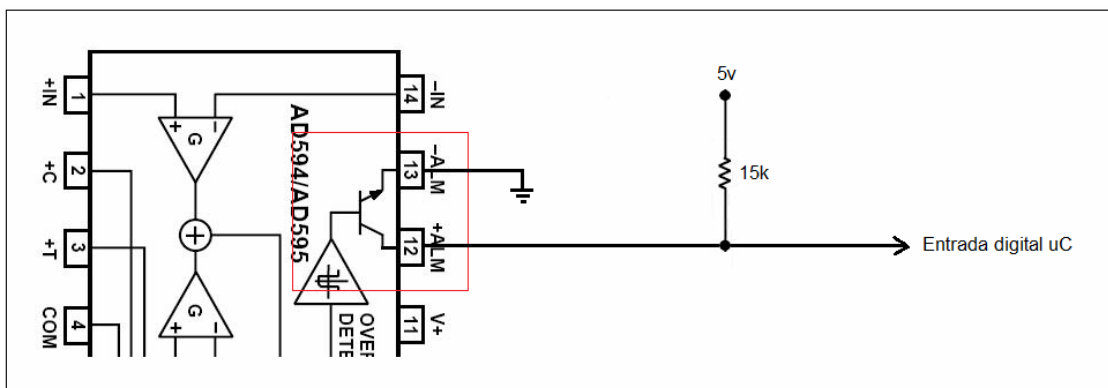


Fig. 3.1.2. Sistema de detecció d'activació d'alarma del AD594

D'aquesta forma, si l'alarma està desactivada, el transistor del AD594 està obert i l'entrada del microcontrolador té el senyal de 5V del pull up.

Quan s'activa l'alarma, el transistor condueix i força el senyal del pin 13 (0v) al pin 12, de tal forma que el microcontrolador llegeix un nivell baix a l'entrada digital i podem detectar que s'ha produït un error en el termoparell.

### 3.2 Esquema de blocs del hardware d'adquisició

Els principals components que formaran el circuit d'adquisició, es representen en el següent esquema de blocs:

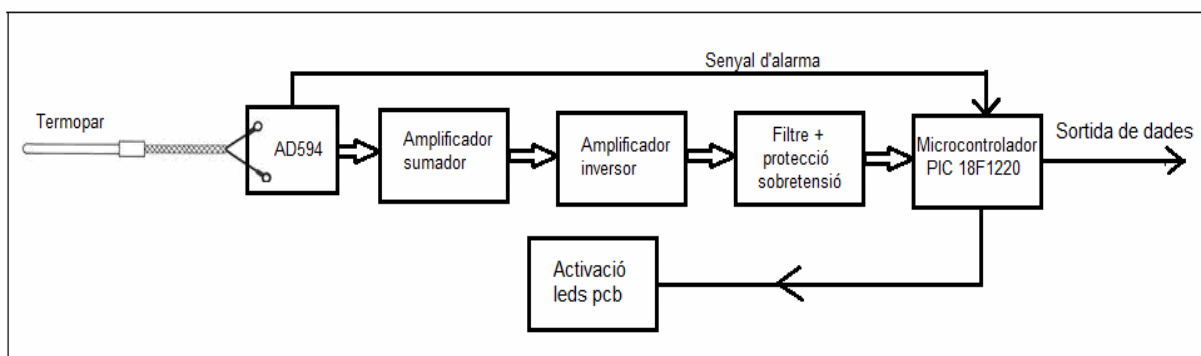


Fig. 3.2.1 Esquema de blocs del sistema d'adquisició

### 3.3 Circuit d'adquisició, condicionament del senyal

#### 3.3.1 Amplificador operacional sumador

Inicialment, es va pensar en un sistema que únicament amplifiqués el senyal de sortida del AD594, tenint en compta el nivell de tensió màxim que ens subministraria aquest integrat.

Fixant-nos en la taula anterior taula-4, veiem que quan assolim la nostra temperatura màxima de +240°C, el senyal subministrat per el AD594 és de 2517mv.

Thermocouple Temperature °C	Type J Voltage mV	AD594 Output mV
100	5.268	1022
120	6.359	1233
140	7.457	1445
160	8.560	1659
180	9.667	1873
200	10.777	2087
220	11.887	2302
240	12.998	2517

Taula 3.3.1 Tensió de sortida que dona l'AD594 en la temperatura màxima que utilitzem.

D'acord amb el rang d'entrada de l'entrada analògica del microcontrolador, volem una tensió de 5V màxims:

$$\text{Factor d'amplificació} = \text{Tensió entrada } \mu\text{C} / \text{Tensió màxima AD594} = 5\text{V} / 2,571\text{V} \quad (3.3.1)$$



Per tant, si amplifiquem aquest senyal per un factor de 1.98, s'obté un senyal màxim de 5v a 240°C.

Però hi ha un altre paràmetre que hem de tenir en compte, ja que no mesurarem únicament tensions positives, sinó que també mesurarem temperatures negatives fins a -40°C.

Mirant la taula 3.3.2, veiem que l'integrat ens proporcionarà tensions negatives per sota dels 0°C assolint un valor mínim de -0,376V a -40°C.

<b>Thermocouple Temperature °C</b>	<b>Type J Voltage mV</b>	<b>AD594 Output mV</b>
-40	-1.960	-376
-20	-.995	-189
-10	-.501	-94
0	0	3.1
10	.507	101
20	1.019	200
25	1.277	250

Taula. 3.3.2 Mostra de la sortida del AD594 a la temperatura mínima que utilitzem en el nostre sistema.

Al donar-nos una tensió negativa per sota de 0°C, hem d'afegir un offset per tal d'evitar aquestes tensions negatives, i poder adquirir-les correctament.

Si tinguéssim tensions negatives, aquestes es llegirien com a 0V en l'entrada del microcontrolador, amb el risc de ruptura el convertidor analògic digital.

Per tal d'evitar tenir aquestes tensions negatives, introduïrem un offset de +0,376V. Aquest valor és degut a que és el valor oposat de la sortida del AD594 a -40°C, tal i com veiem en la taula 3.3.2.

Per introduir aquest senyal d'offset, generem 0,37V a través d'un divisor de tensió, i mitjançant un amplificador sumador, sumem el senyal provinent de la sortida del AD594, amb la sortida del divisor de tensió, tal i com podem observar en, la figura-3.3.1.

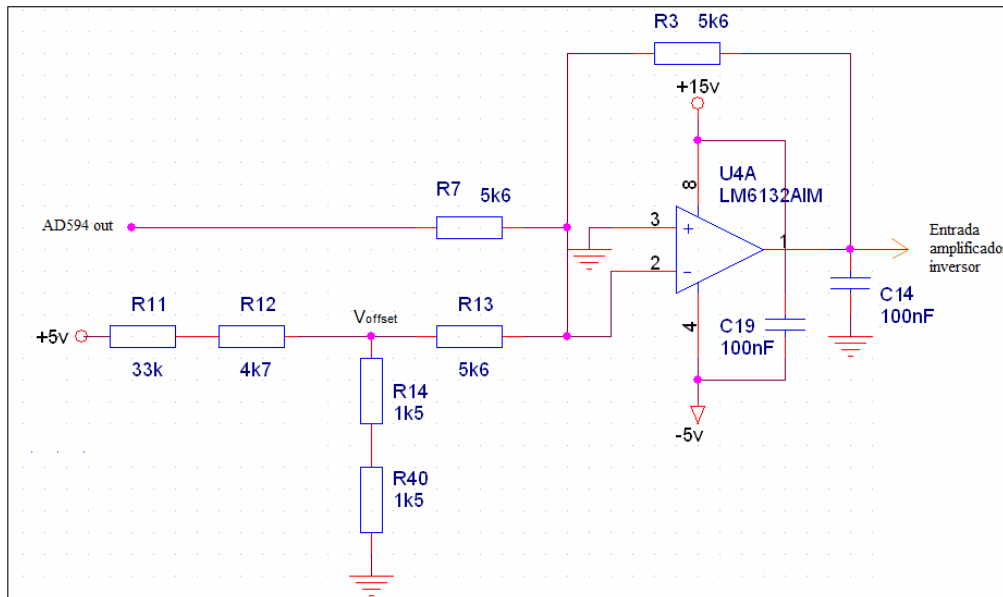


Figura. 3.3.1 Amplificador sumador per sumar 0,37V al senyal AD594 out

Hem de tenir en compte que a la sortida d'aquest amplificador sumador, encara no tenim el senyal condicionat al rang d'entrada del convertidor analògic/digital del microcontrolador, ja que els 2 senyals, només es sumen i s'inverteix el signe de l'operació resultant.

Per tant, necessitem afegir un altre mòdul per tenir el senyal d'entrada del microcontrolador condicionat de 0 a 5V.

### 3.3.2 Amplificador operacional inversor

El mòdul que hem d'afegir és un amplificador inversor. Aquest amplificador ens permetrà amplificar el senyal de sortida del sumador, i invertir-lo de signe.

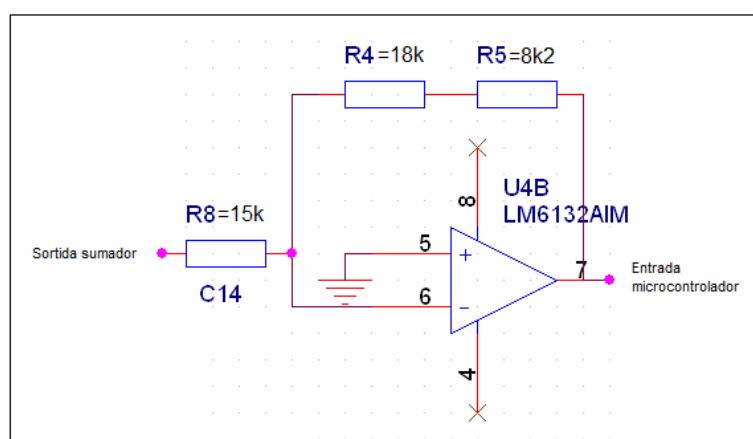


Figura-3.3.2 Amplificador inversor per amplificar per 1.67, i invertir el signe de la sortida del sumador.

Alhora de calcular el factor d'amplificació, hem de tenir en compte que prèviament hem sumat 0,37V al voltatge de sortida de l'AD594, així que per determinar aquest factor s'ha de tenir en compte que la tensió d'entrada de l'amplificador inversor serà de:

$$V_{in \text{ màxima}} = V_{out \text{ AD594}}_{t=+240^{\circ}\text{C}} + \text{offset} = 2.517 + 0.376 = 2.983\text{V} \quad (3.3.2)$$

$$\text{Factor d'amplificació} = \frac{V_{\text{fons d'escala AD uC}}}{V_{in \text{ màxima}}} = \frac{5\text{V}}{2,983 \text{ V}} = 1.67 \quad (3.3.3)$$

Calculem R4, R5 i R8 per obtenir:

$$\frac{(R4+R5)}{R8} = 1.67 \quad (3.3.4)$$

### 3.3.3. Hardware d'alimentació de la placa

Un dels requisits del sistema és que l'alimentació d'entrada ha de ser de 230v ac.

Per tal de funcionar correctament, el hardware precisa d'unes determinades tensions d'alimentació, tals com:

- Integrats AD594: Alimentació de +5V i -5V dc.
- Integrats LM6132AIM: Alimentació de +15V dc.
- Microcontrolador PIC18F1220: Alimentació de +5V dc.

En aquestes tensions anteriors, hem d'afegir una tensió més la qual correspon al mòdul de radiofreqüència, mòdul que veurem més endavant.

- Mòdul transmissor de radio freqüència: Alimentació de 3.3V.

Així que la part d'alimentacions de la placa constarà d'una entrada de 230v ac, i haurà de donar sortides de: -5V, +5V, +3.3V i +15V respectivament.

Per aconseguir aquestes tensions, primer transformem la tensió d'entrada, utilitzant un transformador de 230v ac, a 12v ac. A continuació un pont de díodes rectificarà la tensió alterna.

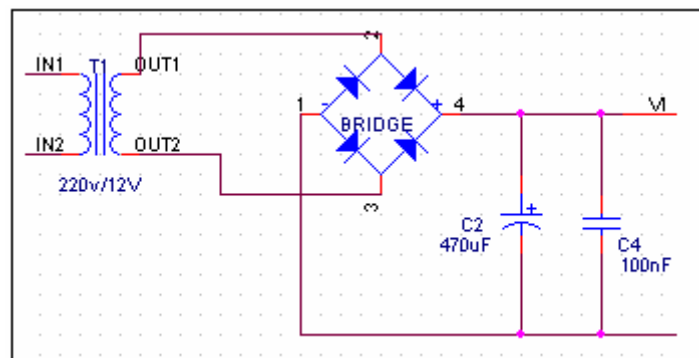


Fig. 3.3.1 Transformació senyal 220v ac d'entrada en +17v dc teòrics a VI

El senyal que volem obtenir és un senyal continu el màxim d'estable possible, per això afegim els condensadors C2 de 470uF per estabilitzar el senyal, i el condensador C4 de 100nF per filtrar sorolls d'alta freqüència.

Seguidament, un regulador LM7815, un LM7805 i un L78L33 s'encarreguen de proporcionar els +15V , +5V i +3,3V respectivament segons figura 3.3.3:

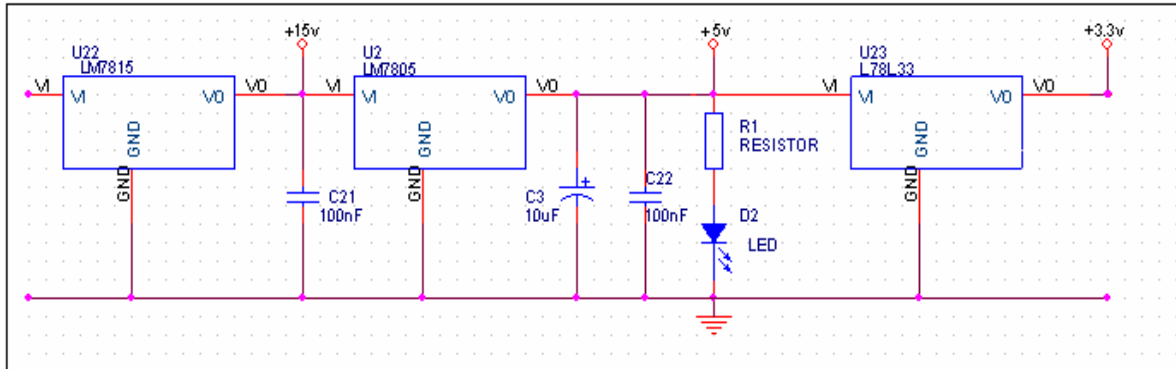


Fig. 3.3.3. Circuiteria per generar tensió 15V i +5V +3.3V i led indicador d'alimentació correcta.

Finalment un integrat ICL7660 s'encarregarà de proporcionar els -5V necessaris per tal que el AD594 pugui llegir temperatures < 0°C.

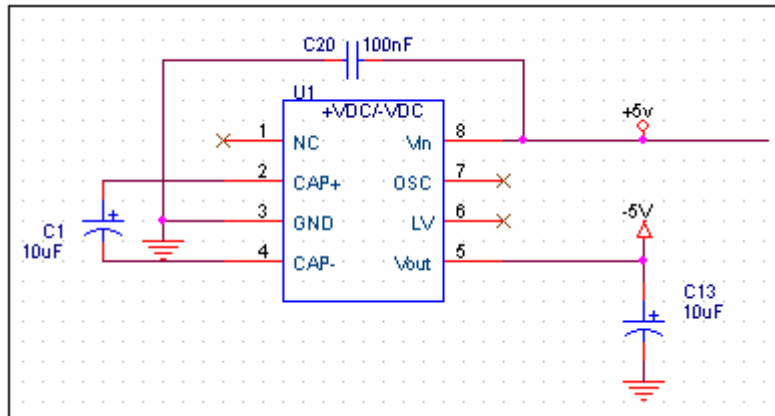


Fig. 3.3.4. Circuiteria per generar tensió de -5v.

### 3.4. Microcontrolador

L'element que s'encarregarà de processar els senyals condicionats dels termoparells, la gestió d'alarmes i enviar les dades, serà el microcontrolador.

Aquest ha de tenir els següents components:

- 2 convertidors analògics digitals
- Port USART per permetre la comunicació via sèrie cap al PC
- Timer per desbordament per generar temps d'espera.
- Entrades i sortides digitals

Entre els múltiples microcontroladors que existeixen en el mercat, s'escull el Pic 18F1220 del fabricant Microchip, bàsicament perquè compleix amb els requisits anteriors, i perquè es disposa del microcontrolador a Elausa, i del programador necessari per gravar-lo.

### 3.4.1. Característiques principals:

Com a característiques principals es poden destacar:

- Memòria de programa: 4k bytes (Memòria flash)
- Memòria de dades: 256 bytes SRAM, 256 bytes EEPROM. (no s'utilitza)
- Ports d'entrada / sortida: Port A / Port B (analògics i digitals). S'utilitzaran:
  - 4 ports de sortida digitals
  - 2 ports d'entrada digitals
  - 2 ports d'entrada analògics
- Convertidor A/D: 7 ports de 10-bits
- USART: TX / RX
- Dímers: 1 dímer de 8 bits / 3 dímers de 16 bits

L'encapsulat escollit és un SOIC de 18 pins CMD. Podem veure el seu pinot en la figura 19:

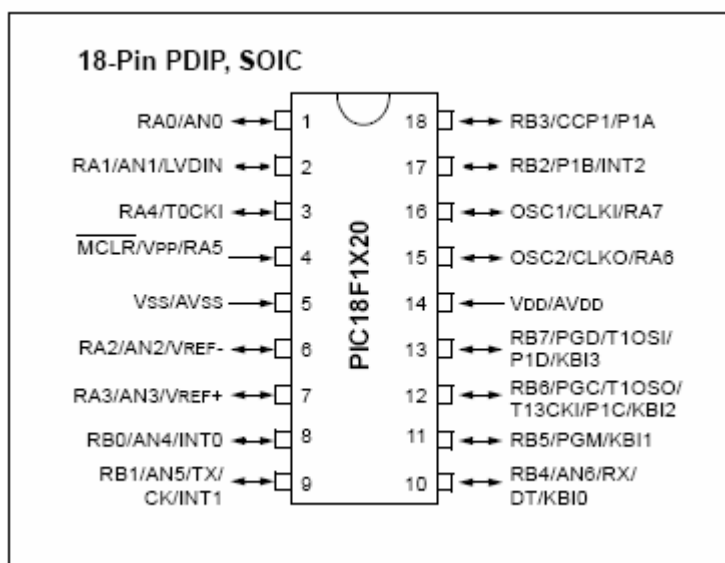


Fig. 3.4.1 Pinout PIC 18F1220.

El nostre sistema utilitza les següents entrades i sortides del microcontrolador:

- .- Entrades analògiques:
  - AN0 - Senyal de sortida termoparell 0
  - AN1 - Senyal de sortida termoparell 1
- .- Entrades digitals:
  - RB0 - Senyal d'alarma termoparell 0
  - RB1 - Senyal d'alarma termoparell 1
- .- Entrada oscil·lador:
  - OSC1/OSC2 - Cristall extern de 4Mhz
- .- Sortides digitals:
  - RB3 - Activar led corresponent a la transmissió canal 0 (Termoparell 0)
  - RB5 - Activar led corresponent a la transmissió canal 1 (Termoparell 1)
  - RB6 - Activar led corresponent al senyal d'alarma termoparell 0.
  - RB7 - Activar led corresponent al senyal d'alarma termoparell 1.
- .- Sortida de dades:
  - TX – Envia les dades a 9600 bauds.
- .- Connector de gravació:
  - P1C - Pin1 del connector de gravació
  - P1D - Pin2 del connector de gravació
  - Vss - Pin3 del connector de gravació
  - Vdd - Pin4 del connector de gravació
  - /MCLR - Pin5 del connector de gravació

### 3.4.2 Convertidor analògic digital

Un punt important del nostre sistema és el convertidor analògic digital, que es troba integrat en el microcontrolador

Com a principals característiques, podem destacar:

- Resolució. S'utilitzarà un convertidor A/D de 10 bits de resolució.
- Rang tensió d'entrada: 0v a 5V
- Nombre de canals analògics: 7 canals.
- Error de quantificació màxim < 1LSb.

Anem a veure com funciona, i quins són els processos que realitza el convertidor A/D:

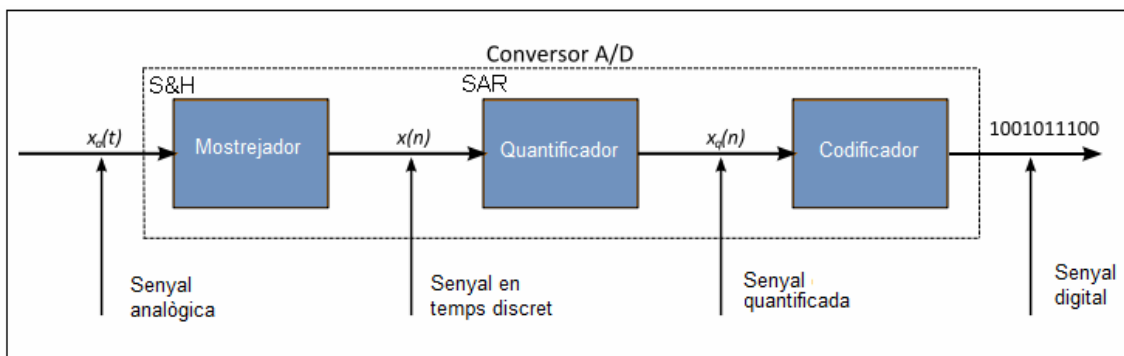


Fig. 3.4.2 Procés per convertir un senyal analògic en digital.

El senyal d'entrada del nostre sistema, és un senyal continu que pot adoptar un rang d'entrada entre 0 i 5V. Aquest senyal d'entrada és continu en el temps i continu en l'amplitud. Per tal de poder digitalitzar-lo, un amplificador A/D, segueix els següents passos:

- a- Mostrejar
- b- Quantificar
- c- Codificar

El procés de mostrejar el senyal, consisteix en transformar el senyal d'entrada del nostre sistema, en un senyal continu en amplitud, però discret en el temps. Un sample & hold, mantindrà el senyal de l'entrada del convertidor analògic digital fix, durant el temps d'adquisició.

Després de mostrejar el senyal, es quantifica el senyal. Aquest procés consisteix en transformar el senyal de sortida del mostrejador, en un senyal discret en amplitud. La forma que té un convertidor A/D de quantificar el senyal es coneix com a registre d'aproximacions successives "SAR".

Aquest procés, consisteix en comparar la tensió adquirida amb unes tensions preestablertes, i realitzar-ho successivament fins a utilitzar tots els bits de resolució del convertidor utilitzat.

Així aconseguim que el senyal mostrejat passi a tenir un valor discret d'amplitud, per aproximació, dintre d'un marge de valors fixats. Alhora de quantificar el senyal, pot donar-se el cas de que el valor obtingut no coincideixi en cap valor fixat. Si passa això, s'agafa el valor inferior com a valor més pròxim.

Anem a veure el seu funcionament en més detall a través del següent exemple, suposant que utilitzem el convertidor de 10 bits amb un rang d'entrada de 0 a 5V.

### 3.4.2.1 Funcionament SAR

El funcionament d'un registre d'aproximacions successives SAR es pot explicar com:

1er pas: Es compara la tensió d'entrada amb una tensió que és la meitat del valor de fons d'escala. En el nostre cas, la tensió màxima és de 5v, i la meitat d'aquest és 2.5V.

D'aquesta forma, tenim 2 possibilitats:

- a) Valor mostrejat > 2.5V
- b) Valor mostrejat < 2.5V

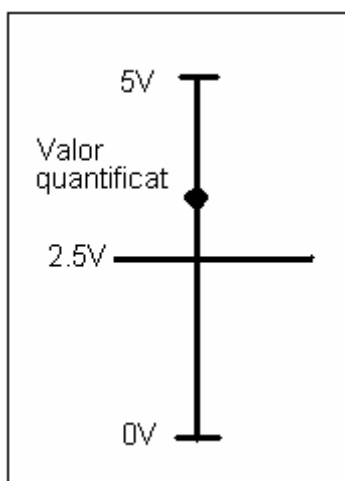


Fig. 3.4.3 Funcionament SAR 1er valor.

Si el valor mostrejat és > 2.5V, llavors el bit de més pes del convertidor adopta el valor de 1.

Si el valor mostrejat és < 2.5V, llavors el bit de més pes del convertidor adopta un valor de 0.

Així que en l'exemple que ens ocupa, el valor mostrejat és > de 2,5V, per tant:

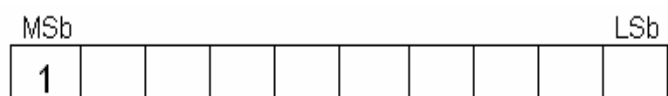


Fig. 3.4.4 Codificació bit de més pes de la conversió.

2on pas: Del pas anterior, sabem que el valor que estem quantificant es troba entre 2.5V i 5V, per tant el convertidor divideix altre cop a la meitat l'anterior tensió de referència, i comparem el valor mostrejat a veure si està per sobre o per sota de la referència.

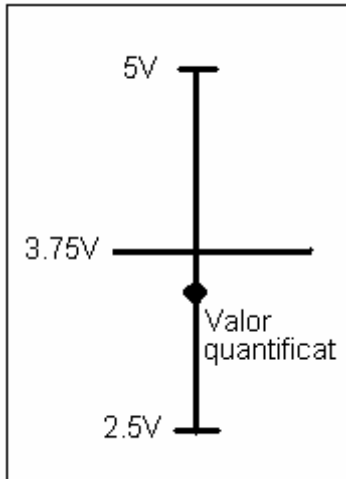


Fig.3.4.5 Funcionament SAR 2on valor

En aquest cas el valor està per sota de 3.75V, de tal forma que alhora de codificar el següent bit, aquest tindrà el valor 0, quedant la dada:



Fig. 3.4.6 Codificació 2on bit de més pes de la conversió.

I així successivament fins a utilitzar tots els bits del convertidor.

Aquest sistema presenta un problema, i és que quan s'han aproximat tots els valors que ens permet la resolució del convertidor menys un bit, sempre ens quedarà el bit de menys pes indeterminat.

Això és a degut a la naturalesa de funcionament d'un sistema de aproximacions successives, ja que podem veure que en la última aproximació, no és possible saber on es troba el valor (si per sobre o per sota la referència), ja que arribats a aquest punt tal i com veiem en la següent figura:

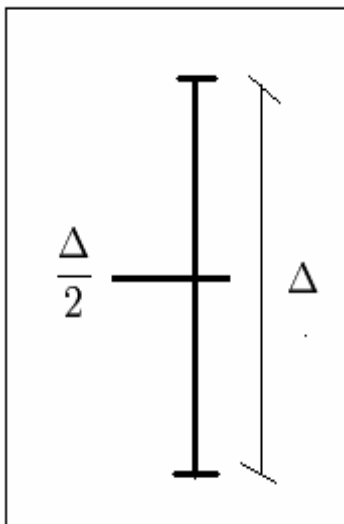


Figura-3.4.7 Aproximació últim valor

On  $\Delta$  és el salt de quantificació, o sigui, el valor mínim en tensió que el convertidor pot tenir entre 2 comptes digitals successives, no disposem de més resolució en el nostre convertidor per tal de determinar si la mostra se situa per sobre o per sota del valor de referència, i el bit menys significatiu queda indeterminat, de tal forma que l'error mínim que podem obtenir utilitzant un quantificador SAR respon a la següent expressió:

$$-\frac{\Delta}{2} < e_q(n) < \frac{\Delta}{2} \quad (3.4.1)$$

Això suposant que disposem d'un convertidor ideal que no es veu afectat per altres errors com passarem a veure a continuació.

A continuació, es veurà com es codifiquen els valors de temperatura amb els 10 bits de resolució que té el nostre convertidor analògic digital:



- En el cas d'adquirir la temperatura mínima (-40°C)

El valor continu a l'entrada del convertidor analògic / digital serà de 0v, i la sortida del convertidor A/D serà: 00 0000 0000.

- En el cas d'adquirir la temperatura màxima del nostre sistema de +240°C:

El valor continu a l'entrada del convertidor analògic / digital serà de 5v, i el valor de sortida del convertidor A/D serà 11 1111 1111

S'ha de tenir en compta que abans de convertir el senyal analògic, aquest podria prendre infinits valors entre -40°C i 240°C, però un cop convertit el senyal, els valors que pot prendre aquest rang de temperatures és finit i es redueix a 1023 valors, degut a utilitzar un convertidor de 10 bits.

Després de convertir el senyal, ens apareixen una sèrie d'errors, alguns intrínsecs degut al funcionament del SAR, i d'altres propis del convertidor A/D que determinen l'error que obtindrem.

Passem a comprovar quin error de quantificació presenta el nostre convertidor A/D.

### 3.4.2.2 Error de quantificació:

Podem considerar que és la mesura en la que ha estat necessari canviar el valor d'una mostra, per igualar-la en el seu nivell de quantificació més pròxim.

Podem obtenir-lo restant el senyal d'entrada  $x_q(n)$  del senyal de sortida  $x(n)$ :

$$e_q(n) = x_q(n) - x(n) \quad (3.4.2)$$

Conèixer l'error de quantificació és important perquè ens permetrà saber si el nostre sistema té un error de quantificació excessiu, o entra dintre d'uns límits acceptables pel nostre sistema.

En el punt anterior ens ha aparegut el concepte de salt de quantificació. Anem a veure amb més detall en què consisteix, ja que el necessitem per determinar l'error de quantificació.

### 3.4.2.3 Salt de quantificació:

És el salt mínim en tensió que tindrem entre cada valor mostrejat. Podem calcular-lo seguint la següent expressió:

$$\Delta = \frac{R}{L} \quad (3.4.3)$$

on  $R$  és el rang d'entrada del quantificador i  $L$  el nombre de salts de quantificació.

En el nostre sistema el salt de quantificació el podríem calcular tenint en compta que la tensió màxima d'entrada del convertidor A/D és de 5v i que el convertidor és de 10 bits:

$$(5V_{max \text{ entrada analògica}}) / (1023 \text{ codificacions possibles}) = 4,88mv/bit \quad (3.4.4)$$

Així s'obté, que per cada variació en l'entrada de 4,88mV, el nostre sistema varia en una compta digital. Per calcular l'error de quantificació, ens falta un valor, que és el valor de sortida del quantificador. Aquest valor el podem obtenir a partir del datasheet del microcontrolador, on ens especifica quines fonts d'error afecten al convertidor A/D en la següent taula:

**A/D CONVERTER CHARACTERISTICS: PIC18F1220/1320 (INDUSTRIAL)**

Param No.	Symbol	Characteristic	Min	Typ	Max	Units	Conditions
A01	NR	Resolution	—	—	10	bit	$\Delta V_{REF} \geq 3.0V$
A03	EIL	Integral Linearity Error	—	—	$<\pm 1$	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 3.0V$
A04	EDL	Differential Linearity Error	—	—	$<\pm 1$	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 3.0V$
A06	EOFF	Offset Error	—	—	$<\pm 1$	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 3.0V$
A07	EGN	Gain Error	—	—	$<\pm 1$	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 3.0V$
A10	—	Monotonicity	guaranteed <sup>(2)</sup>			—	

Taula 3.4.1 Característiques / error proporcionat per el convertidor analògic digital del PIC 18F1220.

### 3.4.2.4 Error convertidor analògic digital:

Segons el datasheet, en la taula 3.4.1 veiem que el convertidor té els següents errors:

Error EIL +/- 1 LSb  
 Error EDL +/- 1 LSb  
 Error Eoff +/- 1 LSb  
 Error EGN +/- 1 LSb

Així que l'error total A/D serà de: +/- 4 LSb.

Veiem que 4 valors els podem representar utilitzant 2 bits, però el datasheet ens especifica que aquest error pot ser tant per dalt com per baix, amb lo qual, en realitat l'error és de 8 comptes, (valors de 0 a 7)

Així que en el pitjor dels casos, en que tinguem l'error màxim, produït per totes les fonts, obtindrem que els 3 bits menys significatius quedaran indeterminats.

Per calcular quin serà aquest error:

Si per exemple calculem quin serà aquest error a la tensió de fons d'escala tindrem que 5v es codifiquen en 10 bits:

a- Sense tenir en compte l'error del convertidor A/D 5V equivalen a::

11 1111 1111 → 1023 en decimal.

b- Tenint en compte un error del convertidor A/D de 3 LSb:

11 1111 1000 → 1016 en decimal.

### 3.4.2.5 Exactitud del nostre sistema:

Donat l'error de 3 LSb del convertidor A/D en el pitjor dels casos, anem a calcular l'exactitud que tindrem.

L'exactitud ens donarà en percentatge, la desviació sobre el valor adquirit :

$$\begin{aligned} \text{Exactitud} &= (\text{Valor quantificat}) / (\text{Valor real}) * 100 && (3.4.5) \\ &= (1016 / 1023) * 100 = 0.68\% \end{aligned}$$

Per tant quan a l'entrada del uC tinguem un senyal de 5V, la sortida del quantificador serà de:  $5v - (0.68\%) = 4.966V$

Així que tenim:

$$\begin{aligned} X(n) &= 5v && (\text{tensió a l'entrada del microcontrolador}) \\ Xq(n) &= 4.966V && (\text{tensió a la sortida del quantificador}) \end{aligned}$$

D'aquesta forma, aplicant la fórmula de l'error de quantificació:

$$\begin{aligned} \text{Error de quantificació} &= (\text{Senyal d'entrada al conv A/D}) - (\text{Senyal de sortida conv. A/D}) \\ &= 5V - 4.966V = 0.034V && (3.4.6) \end{aligned}$$

Donat aquest error de 0,034V, si adquiríssim tots els valors que ens subministra el convertidor analògic/digital, tindríem un error de 7 comptes, ja que el salt de quantificació del A/D és de 4,88mV..

Però a través del nostre programa de PC, no adquirim tots els valors que ens subministra el microcontrolador, sinó que, per especificacions del nostre sistema, únicament adquirim temperatures enteres amb salts de 1°C en 1°C, tal i com es mostra en la següent taula:

Temperatura	TP,J out (V)	ad594 out	uC Vin (V)
20	0,001019	0,200	0,996
21	0,001071	0,210	1,013
22	0,001122	0,220	1,030
23	0,001174	0,230	1,047
24	0,001226	0,240	1,065
25	0,001277	0,250	1,082
26	0,001329	0,260	1,099
27	0,001381	0,270	1,117
28	0,001433	0,280	1,134
29	0,001485	0,290	1,151
30	0,001537	0,300	1,169

Taula 3.4.2 Fragment taula d'Excel utilitzada per quantificar valors en programa de PC

D'aquesta forma, el salt de quantificació que requerim pel nostre sistema no és el salt mínim que és capaç de donar-nos el convertidor A/D (4,88mV), sinó que és un salt més gran que passem a veure a continuació.

### 3.4.2.6 Salt de quantificació utilitzat en el programa de PC

En el nostre sistema, el senyal proporcionat a l'entrada del microcontrolador, és un senyal continu amb lo qual, teòricament tindríem infinits valors de temperatura. Però el

nostre sistema, tenim com a especificacions que les temperatures, s'adquireixen en salts d'1°C.

Recordem que el rang d'entrada que tenim és de -40°C a +240°C, i que els salts són de 1°C, amb lo qual tenim 281 posicions, o 281 temperatures diferents que ha de mostrar el nostre sistema per pantalla.

Si el nostre sistema fos lineal, tindria un salt constant de:

$$5V / 281 \text{ salts de temperatura} = 17,79 \text{ mv/ temperatura mostrada} \quad (3.4.7)$$

Però al no ser lineal la resposta d'un termoparell, tampoc ho és la sortida del AD594 i en conseqüència tampoc ho és el senyal d'entrada del uC. Com hem dit anteriorment, per tal de relacionar la tensió d'entrada del microcontrolador amb la temperatura adquirida, hem creat una taula d'Excel, publicada en l'annex, que ens relaciona aquests 2 paràmetres. Observant els salts de tensió de cada un dels 281 salts mostrejats en la taula, veiem que el salt mínim a l'entrada del microcontrolador és de 17mV/°C en el cas més ajustat.

Aquest salt de quantificació és 3 vegades major que el salt de quantificació mínim que ens pot proporcionar el convertidor A/D (4,88mV). D'aquesta forma, la sensibilitat del nostre sistema serà que, fins que el rang del valor d'entrada del convertidor A/D no produeixi una variació de 3 comptes digitals consecutives a la sortida del convertidor, no saltarem d'una temperatura a l'altra.

Recordem que l'error de quantificació calculat és de 0,034V, en el pitjor dels casos. Aquesta situació en que tinguem el màxim error de totes les fonts d'error del sistema, és un cas molt poc probable que es produeixi, però si som estrictes en el seu càlcul, hem de comptar que ens pot arribar a produir un error de 2°C en la mesura del nostre convertidor A/D.

### 3.5 Software del microcontrolador:

El software del microcontrolador s'encarregarà de gestionar el funcionament del sistema. A mode resumit, a partir d'uns senyals d'entrada, adquirirà, convertirà i codificarà el senyal de tensió que conté la informació de temperatura mesurada, i enviarà per el port USART una trama en format sèrie 9600/8/n/1.

A part del valor de la temperatura, en la trama també s'inclourà el canal adquirit, i si s'ha produït o no error en algun dels 2 sensor d'entrada.

Per altra banda, a través del microcontrolador s'activaran 2 leds en funció del canal que s'ha adquirit, i s'activaran 2 leds més que indicaran estat d'error de termoparell, en el cas que falli algun dels 2 sensors.

#### 3.5.1 Entrades del microcontrolador

Les entrades que tindrà el uC seran les següents:

- Senyal adaptat termoparell -0
- Senyal adaptat termoparell -1

- .- Senyal alarma termoparell- 0
- .- Senyal alarma termoparell -1

### 3.5.2 Sortides del microcontrolador

Les sortides que ha d'entregar el microcontrolador són:

Enviar trama per USART a 9600 bauds en format 8,n,1.  
 Activar led 2 i led 3 en funció del canal enviat  
 Activar led 4 i led 5 en funció de l'alarma activada

La trama enviada per USART, presenta el següent format:

byte 0	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4
STX	CANAL	DADA H	DADA L	CRC

(Fig.3.5.1 Format trama enviada pel microcontrolador).

#### 3.5.2.1 Contingut de la trama

El contingut dels diferents bytes de la trama és el següent:

A) Byte 0:

A l'hora d'enviar la trama, el primer que s'envia és l'start bit (STX) amb el valor de 0x02.

B) Byte 1:

Seguidament, s'envia el byte 1, el qual pot prendre 4 valors diferents en funció de:

- Valdrà C0 si s'envia el canal 0 sense que s'hagi produït alarma en canal 0
- Valdrà E0 si s'envia el canal 0 i s'ha produït alarma en el canal 0
- Valdrà C1 si s'envia el canal 1 sense que s'hagi produït alarma en canal 1
- Valdrà E1 si s'envia el canal 1 i s'ha produït alarma en canal 1.

C) Byte 2:

Correspon a la part alta de la dada del convertidor analògic/digital, o sigui, part alta de la temperatura llegida per el termoparell corresponent.

D) Byte 3:

Correspon a la part baixa de la dada del convertidor analògic/digital, o sigui, part baixa de la temperatura llegida per el termoparell corresponent.

E) Byte 4:

CRC de la trama enviada. On Byte 4 = Byte 0 + Byte 1+ Byte 2 + Byte 3, per assegurar que la trama enviada pel microcontrolador és la que rebem en el PC.

### 3.5.3 Configuració principals registres utilitzats:

Durant la programació del microcontrolador, s'han de configurar una sèrie de paràmetres de funcionament del microcontrolador o registres que utilitzarem, per tal de portar a terme les funcions que volem implementar. A continuació passem a veure la configuració adoptada.

#### 3.5.3.1 Bits de configuració

A través dels bits de configuració, podem configurar diferents paràmetres de funcionament del microcontrolador.

Les principals opcions seleccionades són:

- Se selecciona cristall extern de 4Mhz com a oscil·lador
- Se selecciona la tensió de brown out a 4.5V
- S'habilita el watchdog
- Es desactiva el mode de baix voltatge.

La resta de bits de configuració es deixen per defecte els que vénen en la plantilla de Microchip corresponent al microcontrolador seleccionat.

Per veure en més detall, la configuració completa dels bits de configuració, aquesta s'inclou en l'annex de la memòria, dintre el programa del microcontrolador.

#### 3.5.3.2 Registres de configuració dels ports

A) Configuració ADCON 1:

Configuració canals analògics i canals digitals:

U-0	PCFG6	PCFG5	PCFG4	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
—	1	1	1	1	1	0	0
bit 7							bit 0

(Fig. 3.5.1 Registre ADCON1 PIC18F1220)

- .- Es configuren com a canals analògics; RA0(AN0), RA1(AN1).
- .- Es configuren com a canals digitals; RA2(AN2), RA3(AN3), RB0(AN4), RB1(AN5).
- .- La resta de ports són digitals

B) Configuració TRIS A:

Configurar entrades i sortides del port A:

RA7	RA6	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0
1	1	1	0	0	0	1	1

bit 7 bit 0

(Fig. 3.5.2 Registre TRIS A PIC18F1220)

- Configurar com a entrades del port A; RA0,RA1,RA5,RA6,RA7
- Configurar com a sortides del port A; RA2,RA3, RA4.

### C) Configuració TRIS B:

Configurar entrades i sortides del port B:

RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
0	0	0	1	0	1	1	1

bit 7 bit 0

(Fig. 3.5.3 Registre TRIS B PIC18F1220)

Configurar com a:

- Entrades del port B; RB0,RB1,RB2,RB4
- Sortides del port B; RB3,RB5,RB6 RB7

## 3.5.3.3 Registres de configuració del convertidor A/D

### A) Configuració ADCON 0:

Configuració convertidor analògic / digital:

VCFG1	VCFG0	—	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
0	0	—	0	0	0	0	1

bit 7 bit 0

(Fig. 3.5.4 Registre ADCON 0 PIC18F1220)

- S'habilita el convertidor A/D posant a 1 el bit "ADON".
- Amb CHS0, CHS1, CHS2, a 0, es selecciona el canal 0 (AN0) com a primer canal a adquirir.
- VCFG1 i VCFG0 estan a 0 ja que se selecciona que la tensió d'alimentació del uC sigui també la tensió de referència del convertidor analògic digital.

### B) Configuració ADCON 2

Configuració temps d'adquisició i del temps de conversió:

ADFM	—	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
1	—	0	1	0	1	0	1

bit 7 bit 0

(Fig. 3.5.5 Registre ADCON2 PIC18F1220)

- Amb el bit 7 a 1, se selecciona que el resultat estigui justificat a la dreta (amb 0 estaria justificat a l'esquerra).
- A través dels bits ACQT2, ACQT1, ACQT0 configurats a 010, se selecciona un temps d'adquisició de 4TAD.
- A través dels bits ADCS2, ADCS1, ADCS, configurats a: 101, se selecciona FOSC/16.

Amb aquesta configuració, el temps d'adquisició queda de la següent forma:

$$.- \text{Oscil·lador extern} = 4\text{MHz} \rightarrow 4\text{MHz}/16 = 250\text{KHz} \rightarrow 1/250\text{K} = 4\mu\text{S}$$

A fer una conversió, si seleccionem 4TAD, es tarda 15 cicles d'instrucció, per tant el temps que d'adquisició (T<sub>adq</sub>) serà de:  $4\mu\text{S} \cdot 15 = 60\mu\text{S}$

Si volem saber el temps total a fer la conversió, s'ha de tenir en compta els retards aportats per el coeficient de temperatura (T<sub>coff</sub>), i per el temps de càrrega del sample and hold (T<sub>s/h</sub>).

Tenint en compta la configuració seleccionada i aquests coeficients, facilitats pel fabricant en el datasheet del microcontrolador, el temps total d'adquirir una dada seria de:

$$T_{adq} + T_{coff} + T_{s/h} = 60\mu\text{s} + 1,25\mu\text{s} + 9,61\mu\text{s} = 70,86 \text{ microsegons} \quad (3.5.1)$$

Cal recordar que en el nostre sistema s'envia una dada cada 1 segon, amb lo qual aquest temps es compleix sense problemes.

### 3.5.3.4 Registres de configuració de la UART

#### A) BAUD CTRL i SPBRG

Configuració adoptada per generar un baud rate de 9600 bauds:

SYNC = 0, BRGH = 0, BRG16 = 1			
BAUD RATE (K)	Fosc = 4.000 MHz		
	Actual Rate (K)	% Error	SPBRG value (decimal)
0.3	0.300	0.04	832
1.2	1.202	0.16	207
2.4	2.404	0.16	103
9.6	9.615	0.16	25
19.2	19.231	0.16	12
57.6	62.500	8.51	3
115.2	125.000	8.51	1

Fig. 3.5.6 Configuració per 9600 bauds, utilitzant cristall extern de 4MHz.



Tenint en compta que s'utilitza un cristall extern de 4MHz, per tal de generar 9600 bauds, si ens referim a la figura 3.5.6 veiem que:

- S'ha de posar un 25 decimal (19 hexadecimal) al registre SPBRG, "baud rate registre generator low byte":

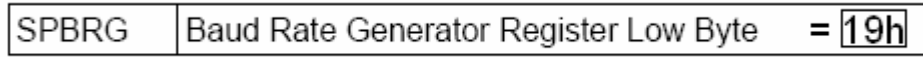


Fig. 3.5.7. Registre SPBRG.

### B) Configuració BAUDCTRL:

La configuració utilitzada per generar el baud rate, segons la figura 3.5.6, és: (SYNC=0, BRGH=0 i BRG16=1).

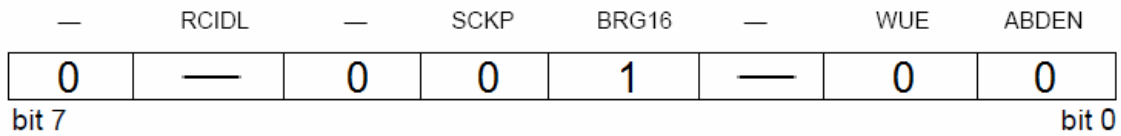


Fig. 3.5.8. Registre BAUD CTRL.

- Per tant, en el bit BRG16 del registre BAUDCTRL s'ha de posar un 1,:

### C) Configuració TXSTA:

A través d'aquest registre es seleccionaran paràmetres referents a la configuració que tindran els bytes de la trama a enviar.

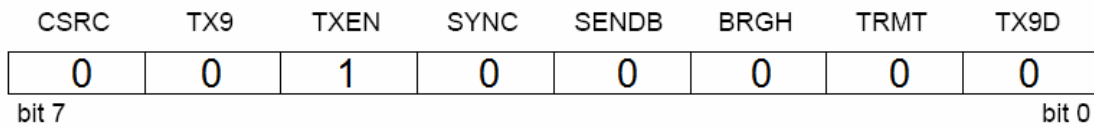


Fig. 3.5.9. Registre TXSTA

- A través del Bit 6, seleccionem 8 bits de dades.
- Al seleccionar 8 bits de dades, automàticament se'ns selecciona el següent format de trama 8,N,1:

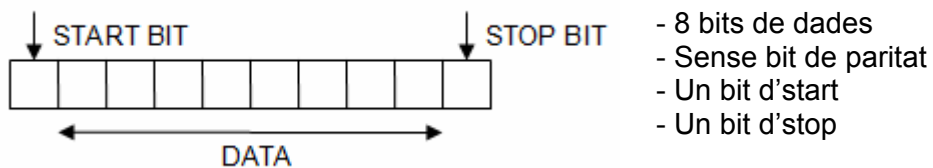


Fig. 3.5.10. Format de trama a enviar

Continuant amb la configuració del registre TXSTA:

- Per tal de generar el baud rate esperat, posem a 0 el bit 2 corresponent al BRGH. D'aquesta forma configurem el BRGH a baixa velocitat, seguint la configuració de la figura 3.5.6.
- Es selecciona el mode asíncron de la usart a través del byte 4.
- S'habilita la transmissió, posant a 1 el bit TXEN.

Amb aquesta configuració, teòricament s'hauria d'obtenir els 9600 bauds que ens donarien 104us teòrics de temps de bit.

D) Comprovació Baud Rate obtingut.

Passem a comprovar-ho amb l'oscil·loscopi, ja que aquest és un punt crític, i si no es compleix el temps de bit esperat, no rebrem correctament les dades enviades.

Per comprovar-ho, agafem al gnd d'un dels reguladors de tensió com a referència, i amb la sonda "punxem" el pin usart de sortida de dades del microcontrolador, segons la següent figura:

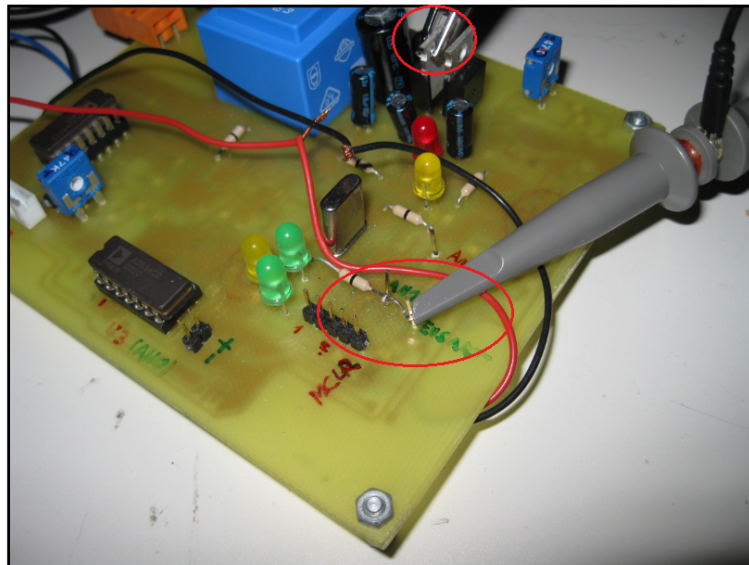


Fig. 3.5.11 Sonda oscil·loscopi per mesurar temps de bit de les dades enviades per l'USART.

Segons veiem en la següent captura amb l'oscil·loscopi, obtenim el temps de bit esperat: 104uS, i un baud rate de 9620 bauds reals.

Per tant la configuració adoptada és correcta per generar el baud rate que esperem.



Fig. 3.5.12 Temps de bit i baud rate obtinguts.

### E) Configuració RCSTA:

L'últim registre que configurarem de la USART, serà el registre RCSTA:

SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
1	0	0	0	0	0	0	0

bit 7 bit 0

Fig. 3.5.13 Configuració registre RCSTA

- Es configura el SPEN a 1 per tal d'habilitar la transmissió per port sèrie.
- Com que la transmissió utilitzada, únicament envia dades, es desactiva els bits corresponents a la recepció de dades.

### 3.5.3.5 Registre de configuració del Timer-0

#### Configuració INTCON:

La configuració que es vol adoptar amb el Timer 0 amb desbordament per overflow a 16 bits.

GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF
1	0	1	0	0	0	0	0

bit 7 bit 0

(Fig. 3.5.14 Registre INTCON PIC18F1220)

Utilitzant aquesta configuració en el registre INTCON, s'aconsegueix:

- .- Habilitar totes les interrupcions sense prioritat,
- .- S'habiliten les interrupcions perifèriques
- .- S'activa la interrupció del timer 0 per overflow.
- .- Es desactiven les interrupcions externes, i les interrupcions del port b.

L'objectiu d'utilitzar aquest timer, és per generar 1 segon d'espera. Aquest temps d'espera és el que marcarà l'enviament de les trames del sistema, de tal manera, que cada segon s'enviarà una trama per l'USART.

Ja que la temperatura és una magnitud que no varia de forma ràpida, enviar les dades cada segon és suficient per el nostre sistema.

Per tal de generar 1 segon d'espera s'utilitzarà la interrupció per overflow del Timer 0. Dintre la rutina d'interrupció, s'incrementarà la variable de comptatge cada vegada que s'entri dintre la interrupció del timer 0.

- .- Per generar aquest comptatge hem de tenir en compte el següent:
  - El timer és de 16 bits.
  - Utilitzem un cristall extern de 4Mhz

- .- Per tant comptador del timer comptarà de 0 a 65535 abans de desbordar-se  
Segons el nostre rellotge extern, el període que tenim és de:

$$T = 1 / 4.000.000 = 0,25\mu S \quad (3.5.1)$$

- .- El rellotge que utilitza el timer, funciona a una freqüència 4 vegades inferior al cristall extern utilitzat, de tal forma que el període real és:

$$T_{utilizat\ Timer0} = T * 4 = 1\mu S \quad (3.5.2)$$

- .- Així que el desbordament del timer 0 es produirà segons:

$$Temps\ de\ desbordament\ Timer\ 0 = 1\mu S * 65536 = 0.0656seg \quad (3.5.3)$$

- .- Per tant si volem realitzar un segon d'espera, haurem d'entrar 15 vegades dintre la rutina del Timer0:

$$Repeticions\ overflow\ Timer0 = 1\ segon\ esperat / 0,0656\ segons\ per\ overflow = 15,2 \quad (3.5.4)$$

### 3.5.4 Programació i gravació del microcontrolador:

El PIC18F1220 s'ha programat utilitzant l'entorn MPLAB de Microchip. El codi està realitzat en ensamblador i es troba en l'annex de la memòria.

Per la seva gravació s'ha utilitzat un programador MPLAB PM3 també del fabricant Microchip i facilitat per l'empresa Elausa.

Per la seva gravació, s'ha habilitat un connector amb el pinout necessari per gravar el microcontrolador:

- Pin1 CLK
- Pin2 DATA
- Pin3 GND
- Pin4 Vcc
- Pin5 /MCLR

A la següent figura es pot veure la el procés utilitzat:

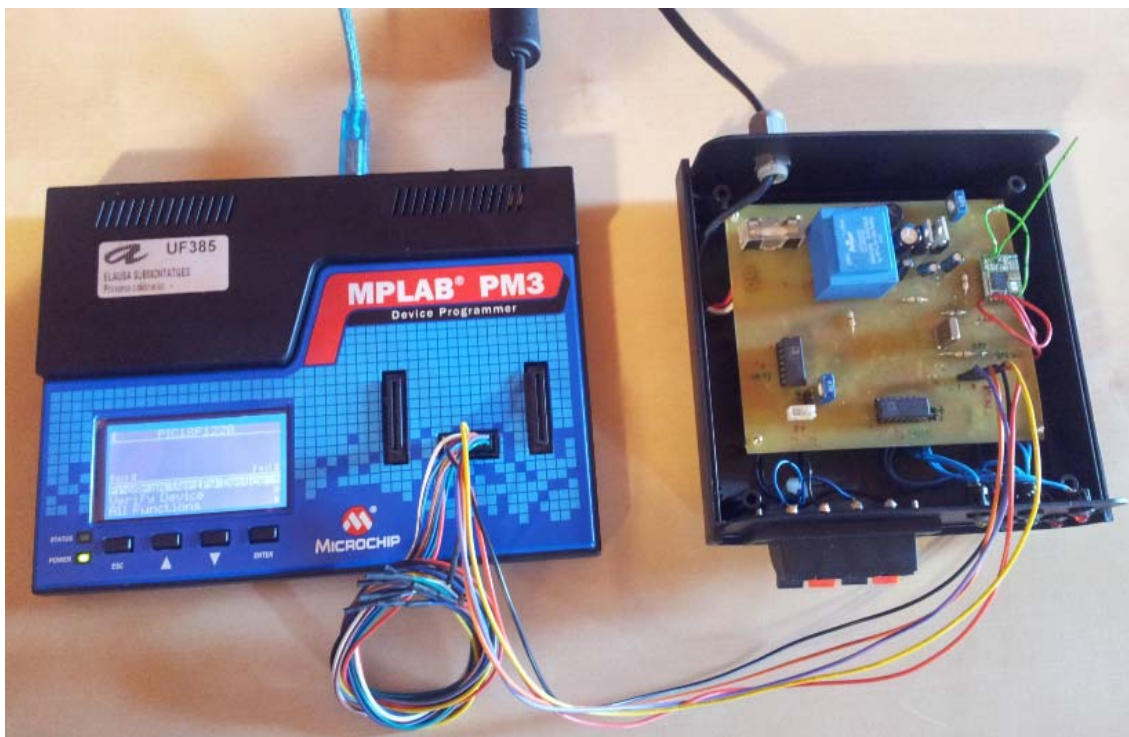
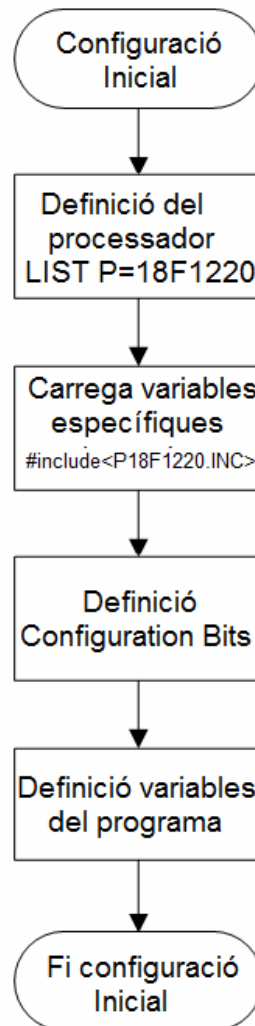


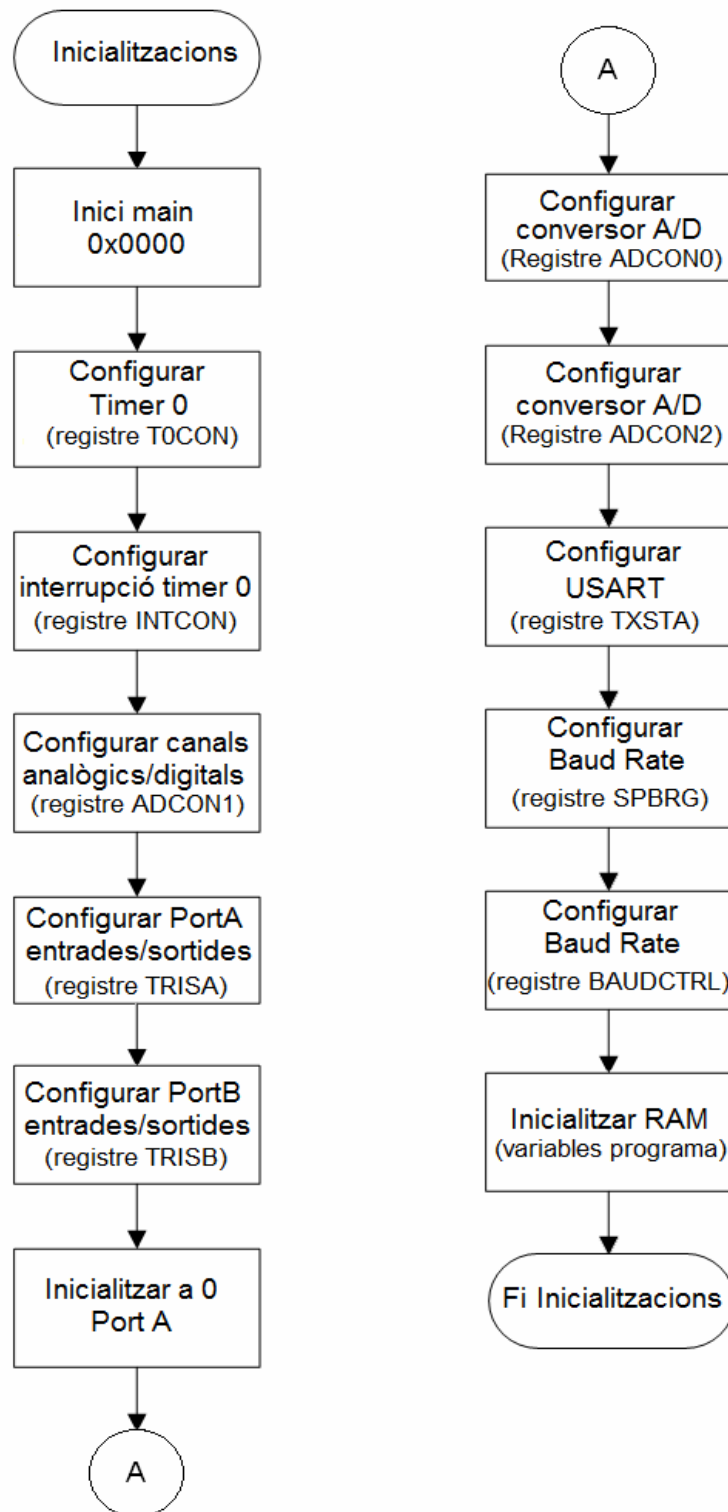
Fig.3.5.15 Gravació PIC18F1220

Les funcions del programa del microcontrolador es mostren a continuació en format de diagrama de flux.

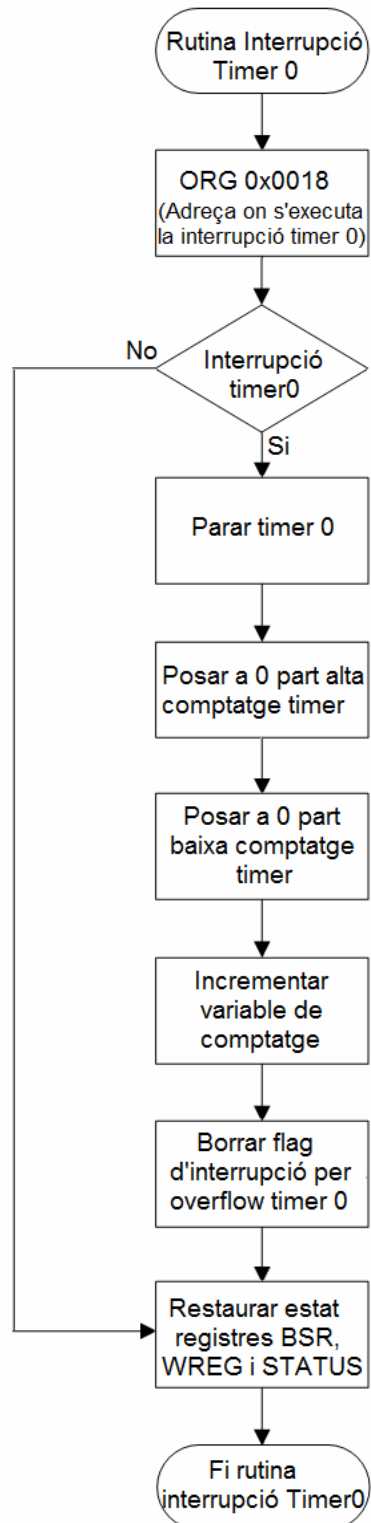
### 3.5.4.1 Configuració inicial:



### 3.5.4.2 Inicialitzacions programa:

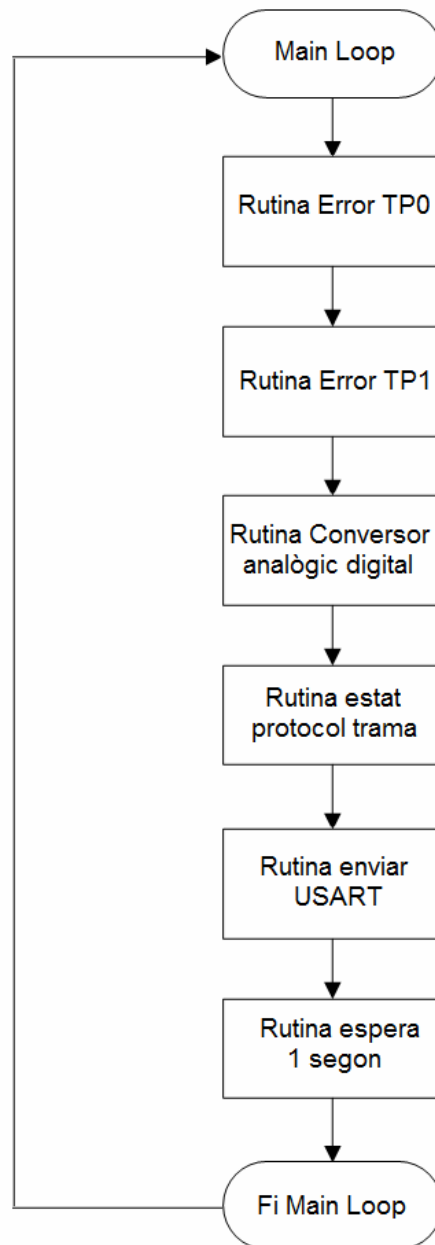


### 3.5.4.3 Rutina Interrupció Timer 0:

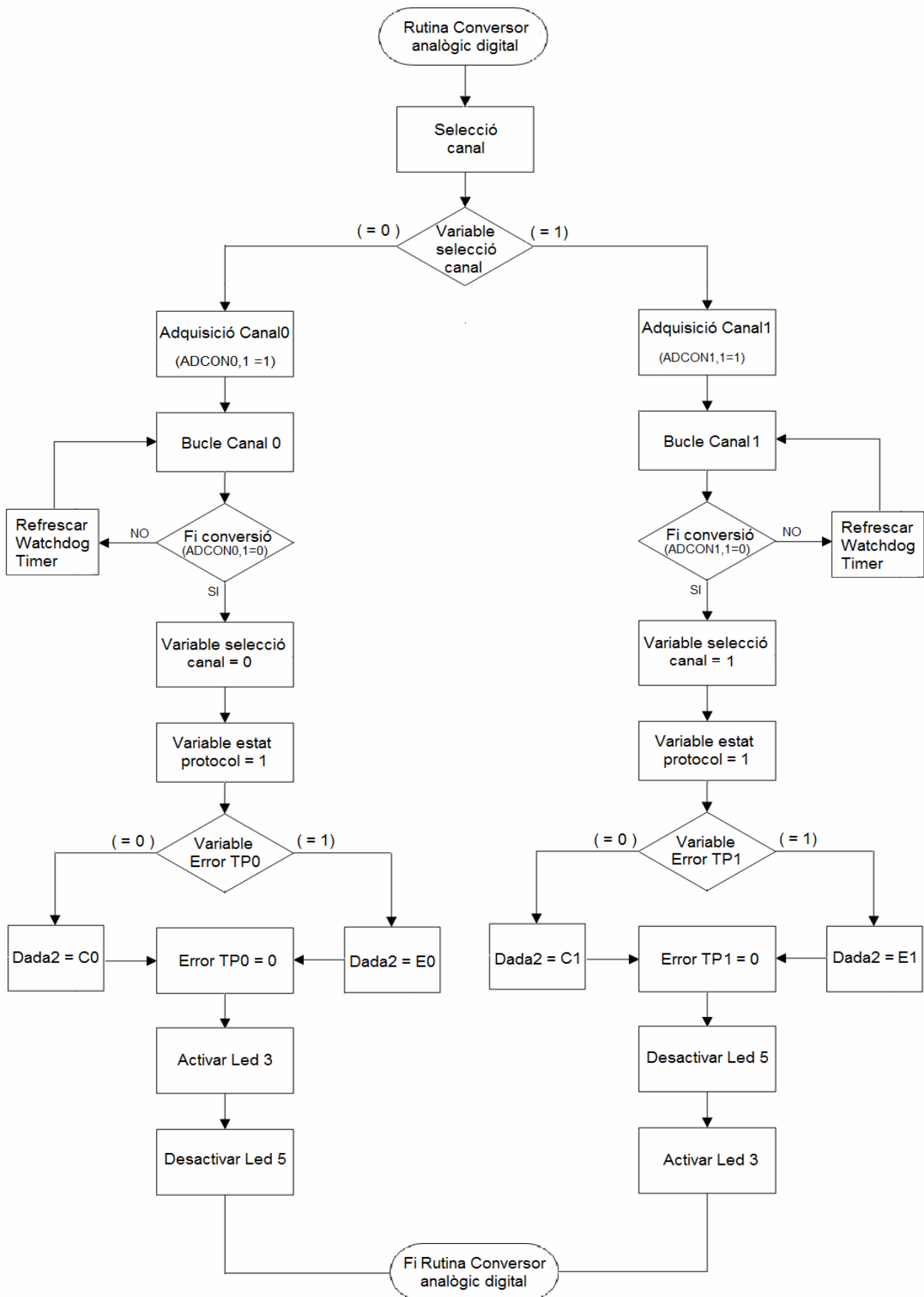




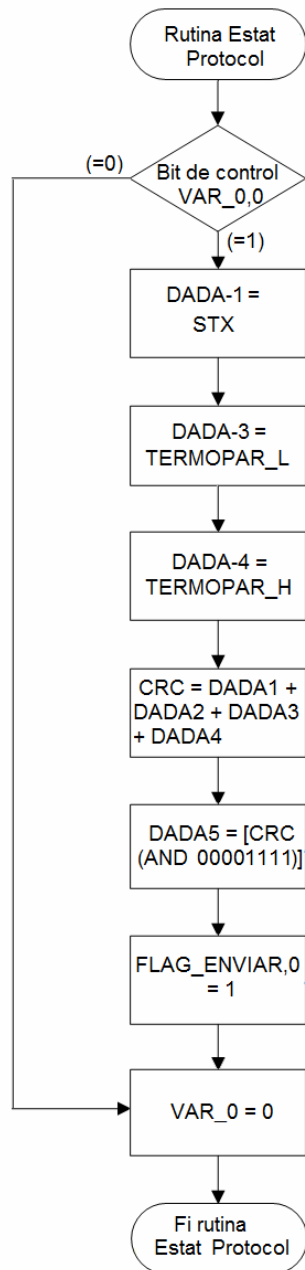
### 3.5.4.4 Rutina del cicle de main:



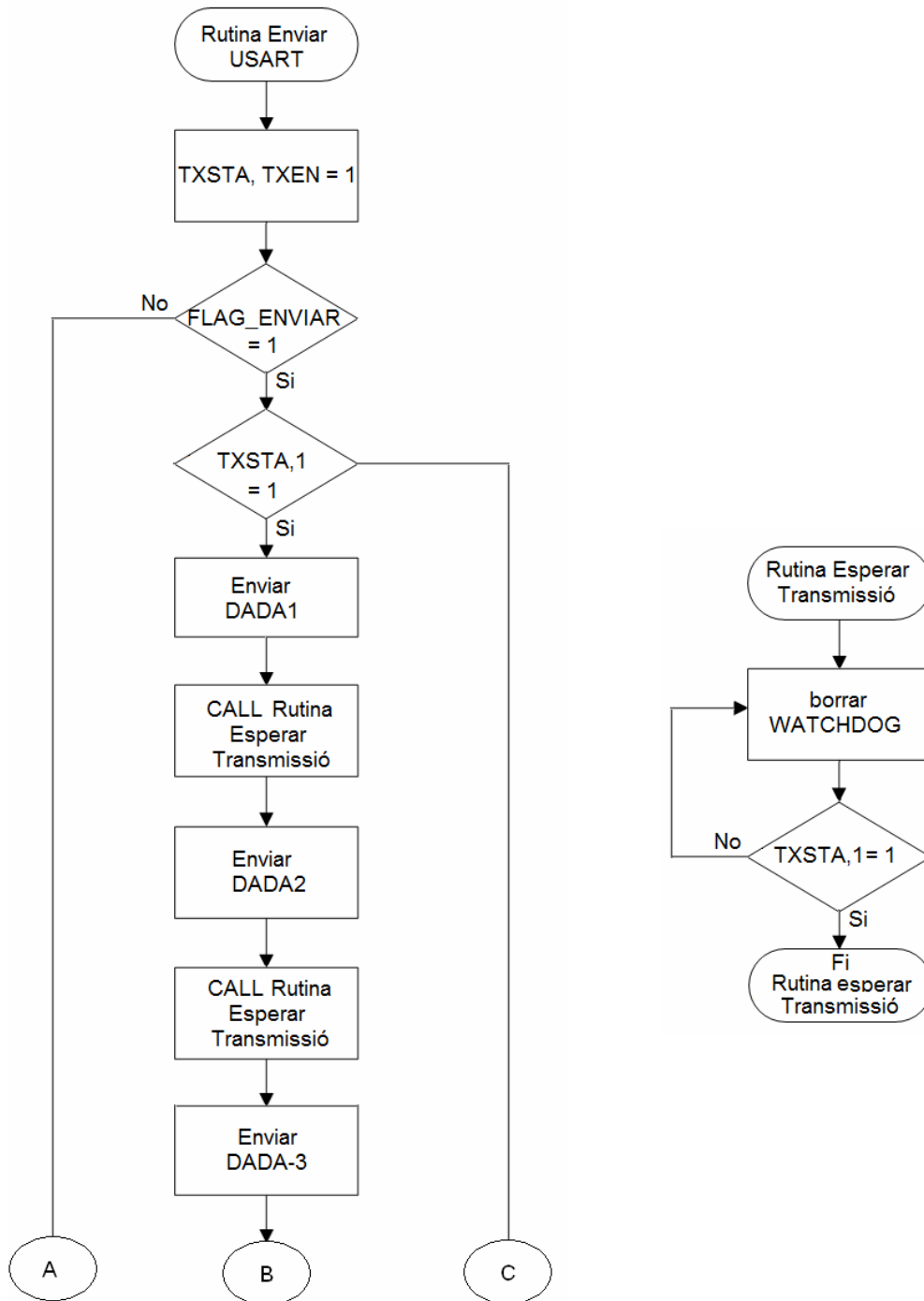
### 3.5.4.5 Rutina Adquisició:

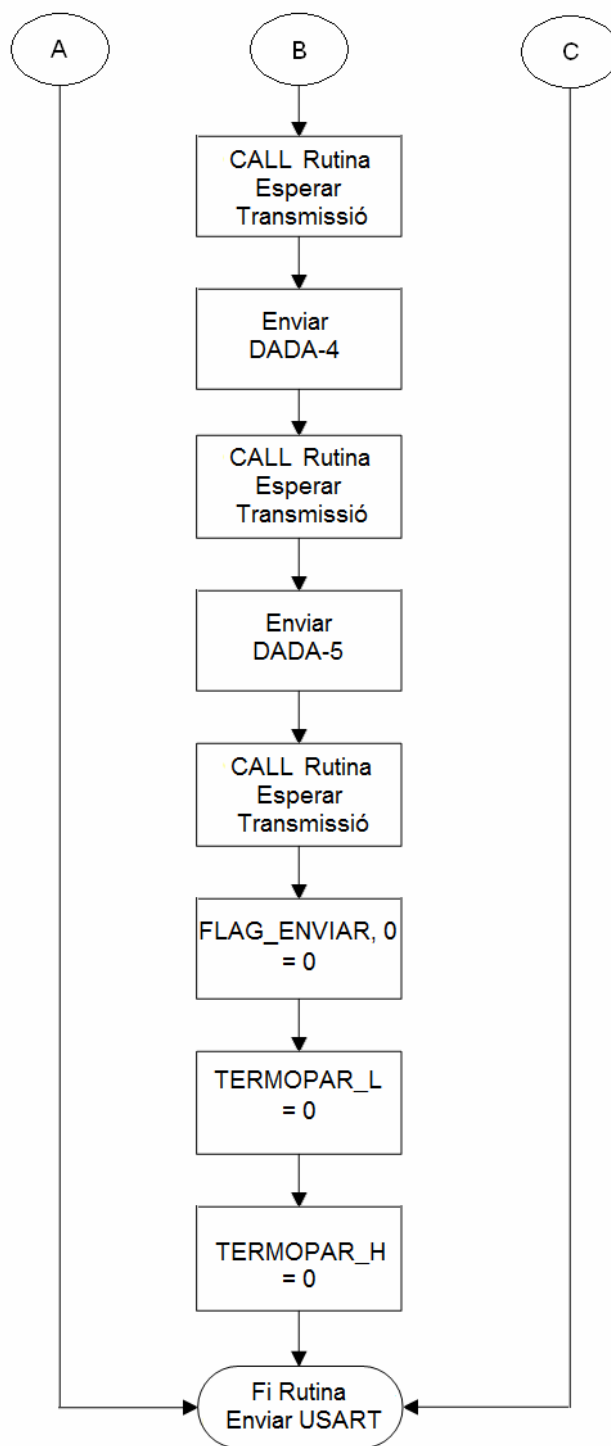


### 3.5.4.6 Rutina generar trama a enviar per l'USART:

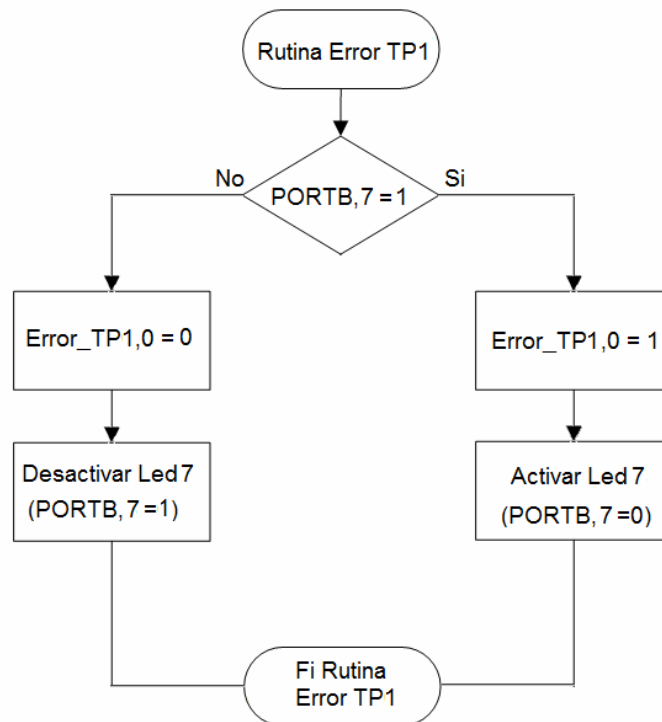
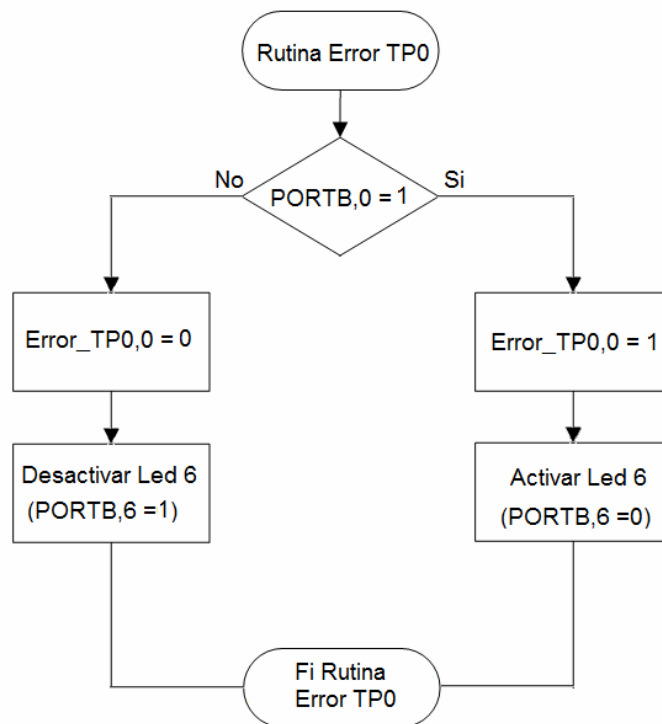


### 3.5.4.7 Rutina enviar trama per l'USART:

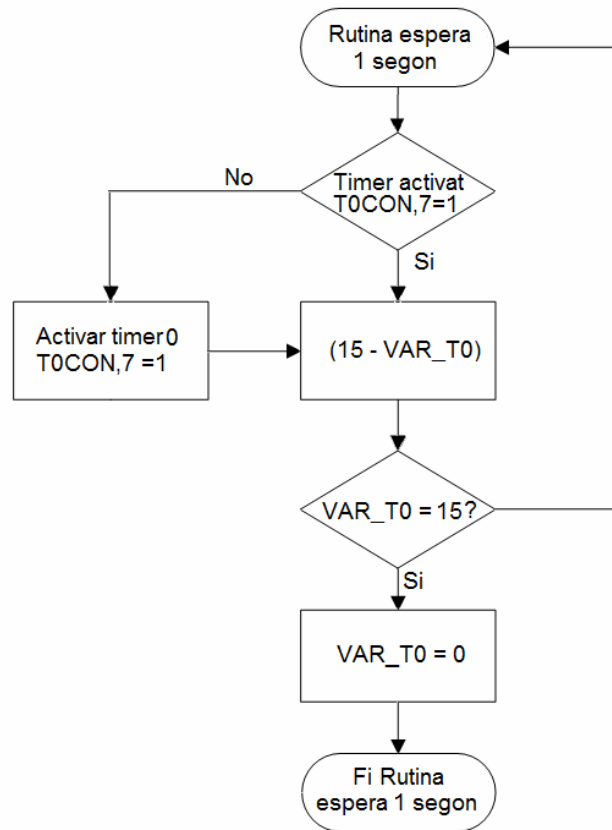




### 3.5.4.8 Rutina tractament d'errors:



### 3.5.4.9 Rutina espera 1 segon:



## 3.6 Programa de visualització i emmagatzematge de dades.

Un dels objectius del sistema és poder visualitzar en temps real les dades adquirides, i guardar-les en un arxiu en format Excel per poder incloure-les en un informe, o simplement tenir registrats els resultats d'un assaig realitzat.

Per portar a terme aquests punts, es decideix dissenyar un software amb Visual Basic. S'ha escollit aquest llenguatge de programació perquè s'adapta a les característiques que es necessiten per implementar aquest sistema, també perquè és un llenguatge que es va utilitzar durant la carrera, i al mateix temps és un llenguatge molt estès que facilitarà la tasca en cas de que més endavant es vulguin portar a terme modificacions en el codi del programa.

### 3.6.1 Resum del funcionament del programa

El funcionament resumit del programa és el següent:

#### 3.6.1.2 Formulari d'entrada de dades:

- A l'obrir el programa, s'obre el següent formulari: formulari en el que introduïrem les dades referents a l'adquisició a realitzar tals com:
  - La ubicació i el nom de l'arxiu a guardar.
  - Components on s'han situat els termoparells
  - Temps d'adquisició programat.
  - Port on es connecta la unitat receptora amb el PC.

Formulari entrada dades:

**Nom fitxer:** C:\TFC DMF\Book1.xls

**Termopar 0** R45

**Termopar 1** U23

**Duració prova** 30 minuts

Acceptar

Port utilitzat: Com 6

Fig. 3.6.1 Formulari entrada dades programa presentació.



Al pulsar el botó “Acceptar” s’inicia el programa d’adquisició i s’obre el següent formulari que permet veure en temps real l’adquisició que s’està portant a terme.

### 3.6.2.3 Formulari principal

La informació presentada en el formulari principal és la següent:

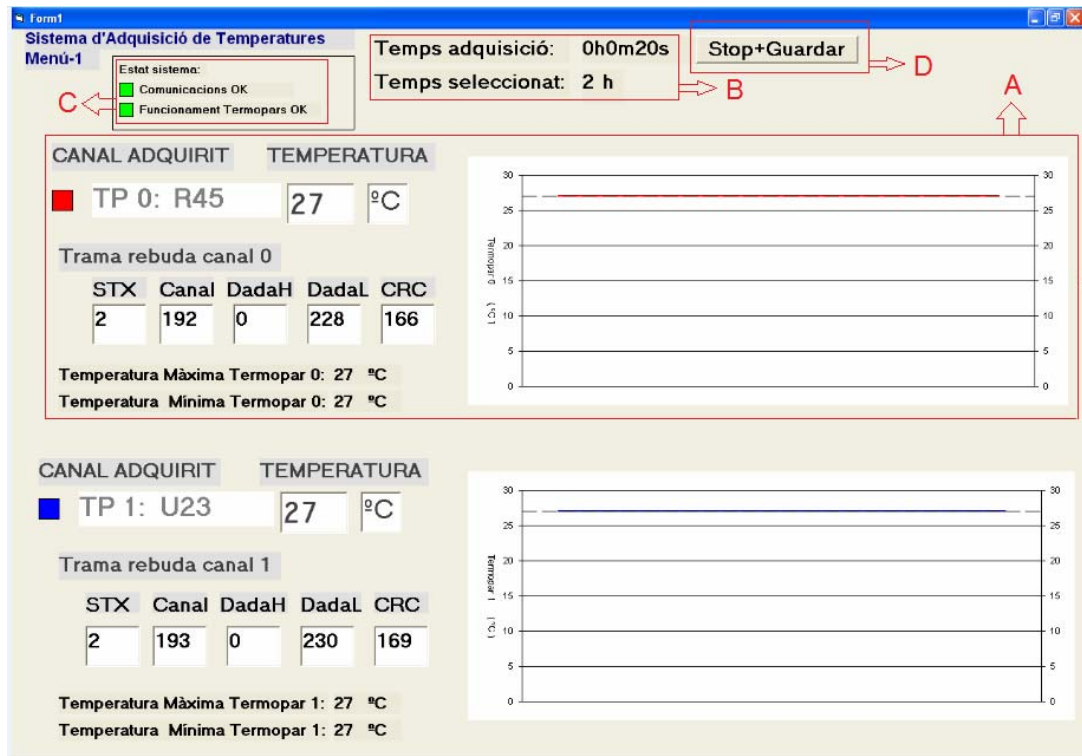


Fig. 3.6.2 Pantalla principal del programa de presentació

El contingut dels diferents camps mostrats en el formulari és:

A- En el camp canal adquirit, es mostra:

- El termoparell utilitzat.
- El component on està situat el termoparell (en la captura, seria la resistència R45).
- La temperatura instantània registrada.
- La trama que rebem del microcontrolador.
- La temperatura màxima aconseguida durant la prova del termoparell 0.
- La temperatura mínima aconseguida durant la prova del termoparell 0.
- Gràfica on es pot veure en temps real l’evolució de les temperatures adquirides.

B- Informació sobre el temps de prova:

- Mostra el temps transcorregut des de l'inici de l'adquisició i el temps total que s'ha seleccionat per la prova.
- Quan el temps transcorregut sigui igual al temps total, l'adquisició pararà automàticament i preguntarà per guardar les dades adquirides.

C- Quadre d'estat del sistema.

- Ens permet comprovar en tot moment que el funcionament del sistema és el correcte.
- En el cas en que es perdés la connexió via radio freqüència, o si es desconnectés qualsevol dels 2 termoparells, la casella de comunicacions ok o la casella de funcionament termoparells ok, es mostra en vermell.

D- Botó "Stop+guardar"

Durant qualsevol moment de la prova, si es polsa aquest botó, aquesta pararà automàticament i preguntarà per guardar les dades adquirides.

### 3.6.2.4 Pantalles d'error del sistema

En el cas en que es perdés la connexió via radio freqüència, o si es desconnectés qualsevol dels 2 termoparells, apareixen els següents formularis d'error en funció del tipus d'error produït:

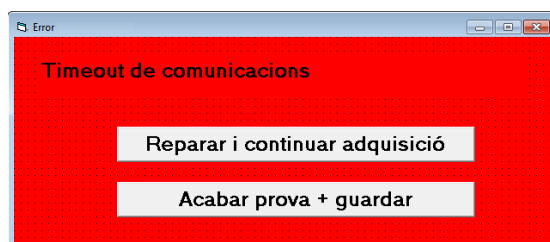


Fig. 3.6.3 Pantalla d'error de comunicacions

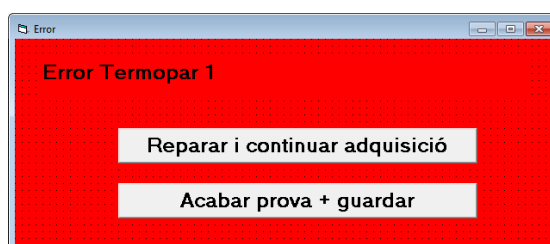


Fig. 3.6.4 Pantalla d'error del termoparell 1

Davant d'aquests errors, tenim 2 possibilitats, reparar el problema (per exemple canviar el termoparell que no funciona) i continuar amb la prova que s'està realitzant, o si el problema no es pot reparar fàcilment, es pot seleccionar acabar l'adquisició i guardar els resultats de la prova registrats fins al moment de produir-se el problema.

### 3.6.2.5 Finalització de la prova

Tant si la prova ha finalitzat degut a que s'ha acabat el temps programat, com si s'ha polsat el botó de parada, ens apareix la següent pantalla:

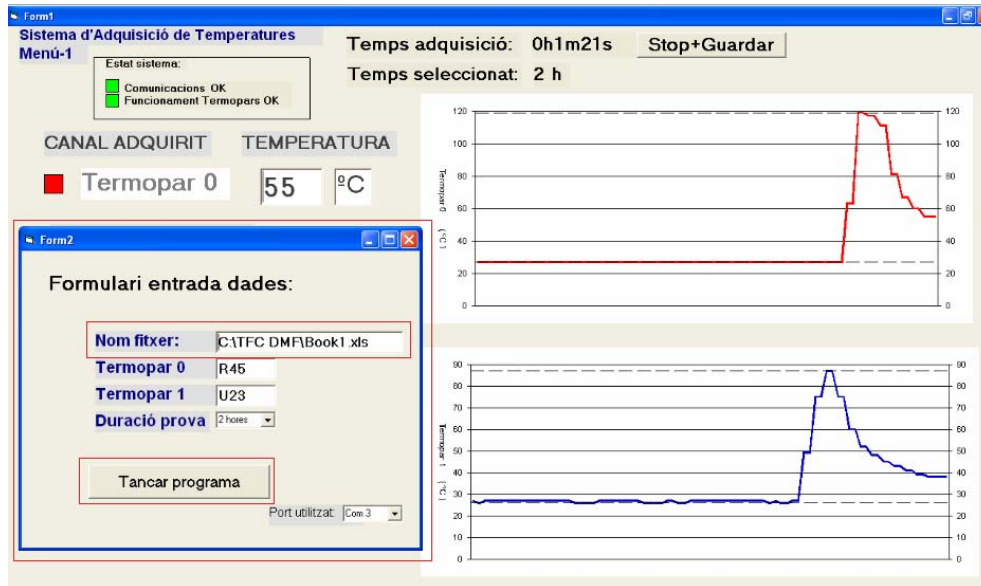


Fig. 3.6.5 Pantalla final de prova

A l'obrir-se aquest formulari, una vegada finalitzada la prova, ens mostra les dades seleccionades a l'iniciar l'adquisició, i ens permet visualitzar l'evolució de temperatures durant la prova realitzada a través del gràfic, mostrant temperatures màximes, mínimes etc.

Finalment al polsar Tancar programa, es tanca el programa i es guarden les dades en el fitxer d'Excel seleccionat.

En la figura 3.6.6 podem veure un fragment del format d'aquest fitxer:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	07/05/2012	Temps test	Ubicació TP0	Valor TP0	Ubicació TP1	Valor TP1	Tmax TP0	Tmax TP1	Tmin TP1	Tmin TP0
2		0h0m0s	R45	22	U23	21	41	42	22	21
3		0h0m1s	R45	22	U23	21				
4		0h0m2s	R45	22	U23	26				
5		0h0m3s	R45	22	U23	33				
6		0h0m4s	R45	22	U23	40				
7		0h0m5s	R45	22	U23	44				
8		0h0m6s	R45	22	U23	42				
9		0h0m7s	R45	29	U23	39				
10		0h0m8s	R45	32	U23	36				
11		0h0m9s	R45	36	U23	32				
12		0h0m10s	R45	41	U23	29				

Fig. 3.6.6 Mostra de dades guardades en fitxer Excel

En el fitxer d'Excel es mostra el següent contingut:

- Data de la prova realitzada.
- Temps transcorregut de l'adquisició.
- Component on està col·locat el termoparell 0.

- Temperatures registrades pel termoparell 0
- Component on està col·locat el termoparell 1.
- Temperatures registrades pel termoparell 0
- Temperatures màxima i mínima enregistrada pels 2 Termoparells.

Aquest seria el funcionament per part de l'usuari del programa de presentació de dades.

Cal recordar que la tasca realitzada pel programa del microcontrolador és la d'adquirir les temperatures i enviar-les via sèrie. Per tant el programa de visual basic és el que converteix el nivell de tensió entregat per el microcontrolador a temperatura, etc.

Passem a veure en més detall com funcionen les principals parts del programa.

## 3.6.2 Seqüència de funcionament del programa

### 3.6.2.1. Inicialitzacions i tractament de dades

A- Inicialitzacions del programa:

El programa funciona per events. A l'obrir el programa, s'inicia l'event del formulari 1 el qual es cuida de gestionar les inicialitzacions següents:

- S'inicialitzen els 2 gràfics (mschart).
- Es carreguen les 2 taules d'equivalència entre tensió i temperatura.
- S'inicialitzen variables i funcions que es mostraran per pantalla durant l'execució del programa.
- Es configura i s'obre el port sèrie del PC.

B- Seqüència que s'executarà al rebre dades pel port sèrie:

Acabades les inicialitzacions, s'espera a que es produeixi un event en el port sèrie, ja que aquest event és el que desencadena el funcionament del programa, executant les següents rutines:

- Seqüència d'adquisició.
- Guardar dades en format Excel.
- Gestió errors del sistema.

Executada aquesta seqüència, el programa espera a un nou event en el port sèrie per tal de començar de nou el cicle anterior.

C- Funcionament de la seqüència d'adquisició:

Quan s'ha produït l'event en el MSCOMM, o sigui s'han rebut dades via sèrie, es comença a executar la seqüència d'adquisició on:

- .- Es tracta la cadena de dades: DADA-0, DADA-1, DADA-2, DADA-3, DADA-4.
- .- Es calcula CRC per assegurar que la trama rebuda és correcta. Per fer-ho es suma:  $DADA0 + DADA1 + DADA2 + DADA3$  i es comprova que la part baixa de la suma sigui igual a la DADA4 enviada per el uC, la qual conté la part

baixa del CRC de la trama enviada, però calculada en el microcontrolador abans d'enviar-la.

.- Si el CRC és correcte, es comprova que el valor de la DADA0 sigui el STX enviat pel microcontrolador (0x02h).

.- Si la DADA0 és correcta, passem a comprovar la DADA1, corresponent al canal enviat. La dada 1, pot prendre 4 valors diferents en funció de:

- a- Valdrà C0 (192 decimal) si el canal rebut és el canal 0
- b- Valdrà C1 (193 decimal) si el canal rebut és el canal 1.
- c- Valdrà E0 (224 decimal) si el canal rebut és el canal 0, però s'ha produït error en el termoparell corresponent durant l'adquisició.
- d- Valdrà E0 (225 decimal) si el canal rebut és el canal 0, però s'ha produït error en el termoparell corresponent durant l'adquisició.

.- Si el valor del canal rebut és C0 o C1, significa que l'adquisició és correcta i adquirim la dada2 i la dada3.

Aquestes dades 2 i 3 són les que contenen el valor de la conversió analògica digital, o sigui el valor de la temperatura llegida per el termoparell corresponent. A continuació veurem com es realitza la conversió entre el nivell de tensió que contenen aquestes dades, i el nivell de temperatura que ens interessa conèixer.

### 3.6.2.2 Procés utilitzat per descodificar la temperatura rebuda.

Per tal de poder obtenir el valor de temperatura, hem de tractar aquestes dades tenint en compte el següent:

A- Rebem el resultat del convertidor analògic digital del microcontrolador, separat en 2 bytes de tal forma que:

- .- Dada2 o byte2, correspon a la part alta de la dada.
- .- Dada3 o byte3, correspon a la part baixa de la dada.

B- Per tant per saber el valor de la conversió hem de sumar els 2 bytes, però igualant els pesos de la part alta i part baixa. Alhora d'igualar els pesos dels 2 bytes, l'objectiu és desplaçar 8 posicions a l'esquerra el valor del byte 2. Per aconseguir-ho s'ha de multiplicar aquest byte per 256.

Passem a veure-ho a continuació, a mode d'exemple, suposant que rebem els següents valors:

- .- *Byte2* = 2 (0000 0010)
- .- *Byte3* = 55 (0011 0111)

Igualem pesos multiplicant el *Byte2* per 256:

$$\text{Byte2} * 256 \text{ en binari} = (0000 0010) * (0001 0000 0000) = 0010 0000 0000 \quad (3.6.1)$$

C- D'aquesta forma tenim els 2 bytes igualats en pes:

Byte 2 = (10 0000 0000)  
Byte 3 = (0011 0111)

Sumant-les obtenim següent valor binari, que convertit a decimal és el 567:

$$\text{Byte2} + \text{Byte3} = 0010\ 0000\ 0000 + 0011\ 0111 = 10\ 0011\ 0111 \quad (3.6.2)$$

D- Per tal saber a quin valor de tensió equival el valor 567, necessitem saber 2 paràmetres:

- 1- Rang de tensió d'entrada del convertidor A/D del microcontrolador: (0V-5V).
- 2- Resolució convertidor A/D: 10 bits per tant 1023 salts.

D'aquesta forma, si multipliquem el valor del convertidor A/D enviat pel microcontrolador pels 5 volts d'excursió de tensió i ho dividim per la resolució del nostre convertidor A/D, obtindrem quina era la tensió d'entrada del A/D abans de fer la conversió:

$$\text{Tensió entrada convertidor A/D} = (5V * 567) / 1023 = 2.77V. \quad (3.6.3)$$

E- Per tal de saber a quina temperatura equival aquest valor de tensió, s'utilitza una funció que ens converteix el valor de 2.77V rebut, en la temperatura que ens interessa visualitzar. Aquesta funció utilitza 2 taules que relacionen el nivell de tensió rebut amb la temperatura que interessa conèixer.

Aquesta funció, consisteix en recórrer la taula que ens relaciona nivells de tensió amb posicions de la taula, de tal forma que a l'entrar en la funció, es començarà a recórrer la taula fins a trobar el valor en tensió de la taula més pròxim a la tensió rebuda.

D'aquest valor en tensió de la taula, ens interessa el valor de l'índex corresponent al nivell de tensió adquirit, ja que aquest índex es relaciona amb l'índex de l'anterior taula, el qual apuntarà amb el valor de la temperatura que volem obtenir.

Taula (2, 156) = 2.689	Taula (1, 156) = 115
Taula (2, 157) = 2.707	Taula (1, 157) = 116
Taula (2, 158) = 2.726	Taula (1, 158) = 117
Taula (2, 159) = 2.744	Taula (1, 159) = 118
Taula (2, 160) = 2.763	Taula (1, 160) = 119
Taula (2, 161) = 2.781	Taula (1, 161) = 120
Taula (2, 162) = 2.799	Taula (1, 162) = 121
Taula (2, 163) = 2.817	Taula (1, 163) = 122

Fig. 3.6.7 Matriu de 2 columnes i 281 files que relaciona tensió i temperatura

D'aquesta forma, obtenim que:

.- Al rebre els valors, Byte2 = 2 (0000 0010 ) i Byte3= 55 (0011 0111), la temperatura llegida per el termoparell és de 120 °C.

### 3.6.2.3 Presentació valors rebuts

- A- Una vegada obtinguda la temperatura, aquesta es presenta en el formulari, en el text box que anteriorment hem vist que mostra la temperatura.
- B- En aquesta mateixa seqüència es mostra el contingut de la trama i s'actualitza si s'escau el valor màxim i mínim de les temperatures adquirides.
- C -Paral·lelament a aquest procés, s'executa l'event del timer1 i el timer 2.
- D- El timer 2 s'encarrega de comprovar constantment que no s'hagi produït error en les comunicacions, i presenta l'error per pantalla tant si és de comunicacions com si és de funcionament dels termoparells. Mostrant:
  - .- Mostrar senyal en verd + missatge si no hi ha error en les comunicacions.
  - .- Mostrar senyal en verd + missatge si no hi ha error en els termoparells.
  - .- Mostrar senyal en vermell + missatge si hi ha error en les comunicacions.
  - .- Mostrar senyal en vermell + missatge si hi ha error en les comunicacions.

El timer 1, per la seva banda s'encarrega de registrar les dades en el gràfic.

El motiu d'utilitzar 2 timers per realitzar aquestes funcions, és degut a que en funció del temps d'adquisició seleccionat, es presentaran les dades en el gràfic en diferent interval de temps. Les dades es presentaran cada 1 segon si el temps seleccionat és inferior a 30 minuts, o cada 2 segons en el cas que s'hagi seleccionat 1h d'adquisició, per exemple.

Aquests passos es realitzen cíclicament cada vegada que es rep una dada pel port sèrie.

- E- En cas de que hagi finalitzat la prova per haver-se superat el temps, o per haver polsat el botó de finalitzar, es guarden les dades en el fitxer d'Excel (vist en l'apartat anterior) i es finalitza el programa.

### 3.7. Mòdul de RF

El mòdul de ràdio freqüència no s'ha dissenyat en aquest projecte, sinó que s'ha comprat un mòdul comercial per tal de complir un dels requeriments del sistema, el de poder enviar les trames des de la sala de proves d'Elausa, cap a la oficina tècnica, situada a uns 30 metres de distància.

S'ha optat per la utilització d'un mòdul de la marca Hope RF a 868MHz. S'ha escollit aquest mòdul ja que compleix amb la funcionalitat demanada i té un cost reduït.

Aquest mòdul consta de 2 transceivers, on el mòdul transmissor envia el senyal TTL de la sortida de la UART del microcontrolador, cap al transceiver de recepció.

#### 3.7.1. Unitat transmissora de R.F.

En la seva implantació amb el nostre sistema hi ha hagut un problema. El problema ha estat que el nostre sistema entrega per la UART, un senyal TTL de 5V d'amplitud, mentre que el transceiver funciona amb TTL de 3.3V.

Per tal de solucionar aquesta incompatibilitat, s'ha optat per adaptar el nostre senyal TTL a 3.3V.

Per aconseguir aquest objectiu, s'ha implementat una circuiteria basada en 2 transistors, tal i com mostra la següent figura:

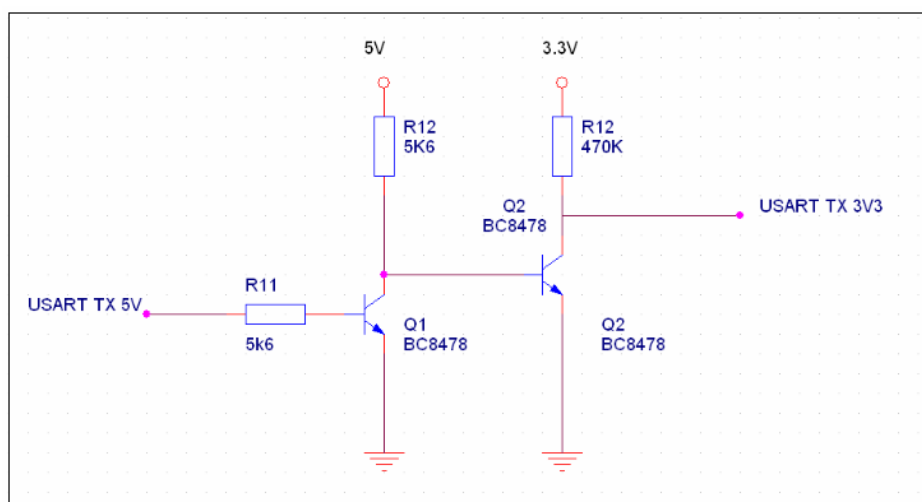


Fig. 3.7.1 Esquema transistors per adaptar TTL de 5V a TTL de 3.3V

El seu funcionament és el següent:



- A- Quan el senyal TTL enviat des de la USART del microcontrolador presenta un nivell de tensió alt (5V), el transistor 1 s'activa i el transistor 2 no s'activa. Com a resultat el pin TX del transceiver de transmissió té 3V3 (nivell alt).
- B- Quan el senyal TTL enviat presenta un nivell baix (0V), el transistor 1 no s'activa, mentre que el transistor 2 si que s'activa al rebre 5V en la base. Com a resultat el pin TX del transceiver TX té 0V (nivell baix).
- C- Amb això tenim el TTL nivell 5V que envia el nostre microcontrolador, convertit a TTL 3,3V per tal de poder ser enviat per el transceiver.

En la següent figura amb l'oscil·loscopi podem veure els 2 senyals TTL:

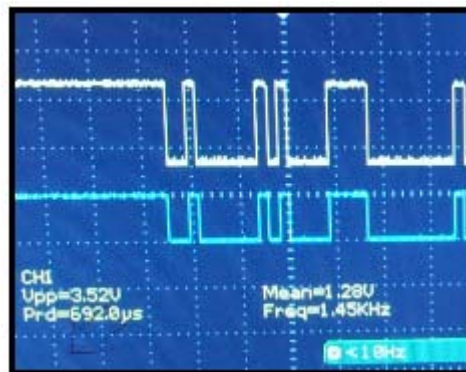


Fig.3.7.2 Senyals TTL 5V i TTL 3V

En l'anterior figura podem veure com els senyals estan completament sincronitzats, mantenen el temps de bit, i l'únic canvi està en el nivell de tensió de cada un.

### 3.7.2. Unitat receptora de R.F.

El mòdul receptor és un transceiver configurat igual que l'emissor a 868MHz i amb un format de dades a 9600/8/n/1.

Per tal de connectar-lo al PC, aquest mòdul incorpora una placa convertidora de TTL a RS232. Aquest mòdul es pot connectar al PC directament al port COM o sinó degut a que actualment cada vegada hi ha més PC que no disposen de port COM, es pot connectar a través d'un adaptador COM-USB, que crea un COM virtual en el port usb connectat.

## Capítol-4 Placa circuit imprès d'adquisició

### 4.1 - Condicions de disseny.

La placa d'adquisició està dissenyada utilitzant el programa informàtic PCAD2002. Les pistes del PCB s'han traçat totes manualment, sense utilitzar la opció "d'auto rute" del PCAD. Alhora de traçar les pistes s'han tingut en compte les següents normes de separació i de gruix entre pistes:

- .- Separacions mínimes:
  - a- Alta tensió: Distància entre fases de 3 mm
  - b- Entre alta tensió i baixa tensió: Distància entre fases de 8 mm.
  - c- Entre baixa tensió: Distància entre fases de 0,3 mm
  
- .- Gruix de pistes:
  - a- Alta tensió: de 1,5 mm
  - b- Baixa tensió: 0,5 mm

El disseny correspon a una placa de simple cara amb els components SMD muntats a la cara BOT i els components convencionals muntats en la cara TOP. Es va optar per aquesta disposició de components per intentar compactar el disseny.

El motiu de dissenyar la placa en simple cara, va ser per facilitar el procés d'insolat de la placa. Aquesta configuració de simple cara, facilita la fabricació de la placa, però dificulta el disseny de la PCB, ja que hi va haver dificultats per poder traçar determinades pistes, i va ser necessari utilitzar ponts SMD de 0 ohms, que s'haurien pogut evitar fabricant una placa de doble cara. La dificultat en la fabricació d'una placa de doble cara està en el centratge alhora de insular la planxa, degut a la isoladora utilitzada.

### 4.2 - Material i mides

Es parteix d'una planxa de revelat positiu de 200x300mm.



Fig. 4.3.1 Planxa de revelat positiu utilitzada.

A- Aquestes planxes tenen la característica de que les zones que queden pintades sobre la planxa, després d'insolar, conserven la capa de coure durant el procés de revelat.

B- El primer pas va ser tallar la placa a les mides que es necessitaven:  
.- 120mm x 105mm.

A partir d'aquest punt, va començar el procés de fabricació.

## 4.3 – Fabricació circuit imprès

El procés de fabricació de la placa es va dividir en les següents fases:

### 4.3.1 – Insolar

A- Es va imprimir el traçat de pistes i pads dels components en un full transparent.

B- Seguidament es va posar aquest full sobre la planxa de revelat positiu, i es va insular durant 5-6 minuts.

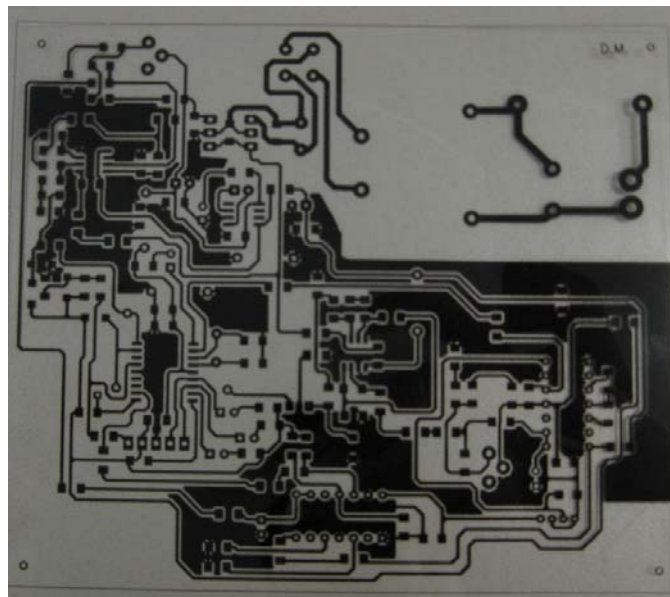


Fig. 4.3.2 Paper transparent per insolar la placa

### 4.3.2 – Revelat + mecanitzat

A- Es va introduir la placa en sosa càustica (revelador) durant 2 minuts.

B- Seguidament s'introdueix el PCB en una barreja d'aigua, aigua oxigenada de 110 volums i sulfamat, mesclats a una tercera part cada un. Passats 5 minuts, el coure de la planxa es desprèn, excepte el disseny del circuit imprès insolat anteriorment.

C- A continuació, s'estanyen totes les pistes, pads i parts de coure del circuit per evitar la seva oxidació.

D- El següent pas va consistir en trepar amb broca de 0,75mm i de 1mm, el centre dels pads convencionals per permetre la inserció dels components convencionals, i amb broca de 3mm per els forats de centratge de la placa.

En la següent figura es pot veure la placa després d'aquests processos descrits anteriorment:

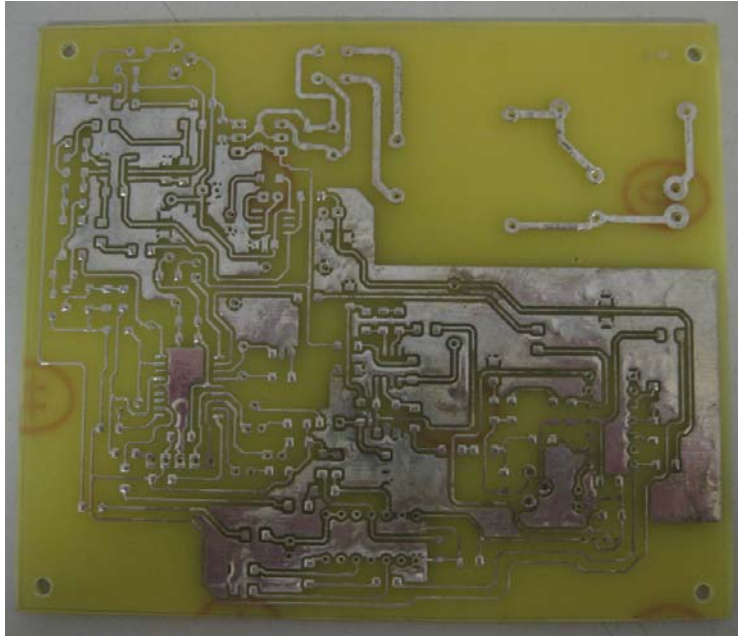


Fig. 4.3.3 Placa preparada per muntar els components electrònics

### 4.3.3 - Muntatge

Realitzats els forats, es va procedir a muntar i soldar manualment primer els components SMD de la placa i seguidament els components convencionals.

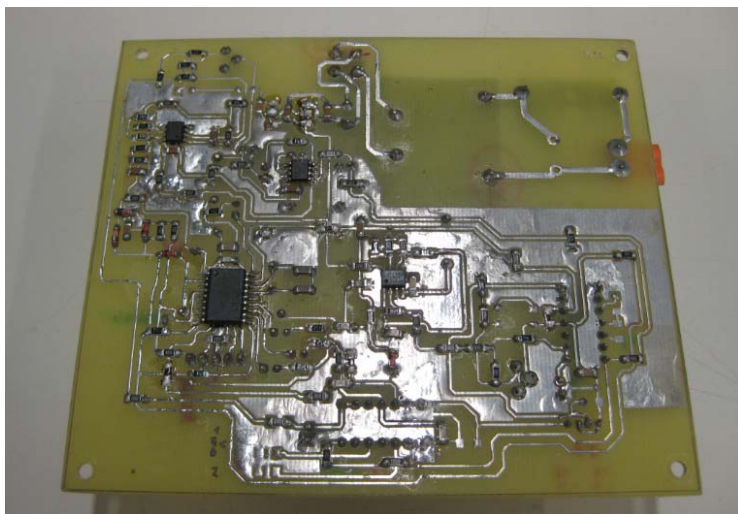


Fig. 4.3.4 Cara BOT de la PCB amb muntatge component SMD

## 4.4 - Versions de PCB

Les imatges anteriorment presentades, corresponen a la segona versió de la placa, ja que la primera placa fabricada va presentar dificultats per el muntatge i es van tenir que realitzar les següents modificacions:

- Nou "footprint" per el transformador.
- Nou "footprint" per el pont de díodes
- Nou "footprint" per les tires de pins
- Nou "footprint" per el condensador C3
- Incrementar corona dels pads potenciómetres,
- Modificar l'allotjament dels ponts de díodes

Aquesta primera versió de PCB, també va presentar dificultats a nivell de funcional.

Inicialment la placa no funcionava, degut a algun problema en el traçat de pistes. Solucionats aquests problemes, la placa funcionava, però les tensions adquirides presentaven uns valors molt inestables saltant constantment d'uns valors a altres i mostrant un funcionament poc constant.

Observant amb l'oscil·loscopi es va veure que el senyal d'alimentació dels amplificadors operacionals presentava molt soroll, i es va optar per utilitzar condensadors de desacoblo molt pròxims al component, ja que inicialment al traçar les pistes, aquests condensadors de desacoblo de l'alimentació s'havien situat allunyats dels integrats.

Amb els canvis anteriorment descrits la placa funcionava correctament, i es va decidir fabricar una altra PCB amb les millores incorporades.

A continuació es pot veure la versió 1 de la placa fabricada, amb les correccions realitzades:

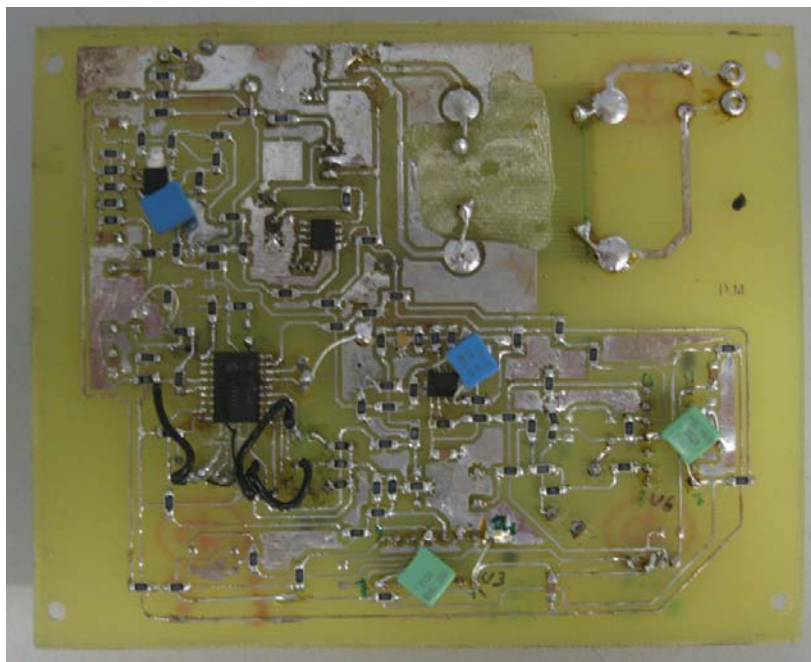


Fig. 4.4.1 Versió 1 de la PCB amb les modificacions realitzades.



## 4.5. Embalatge final de la PCB.

Per tal de protegir el circuit electrònic, s'ha optat per utilitzar una caixa de plàstic del fabricant Supertronic de 155x155x60 mm, mides que s'adapten a les dimensions de la nostra PCB.

Aquest és l'aspecte de la caixa una vegada realitzat el mecanitzat per els 5 leds que indiquen el funcionament del sistema, l'entrada de 220v, i la regleta ràpida de connexió dels termoparells:



Fig. 4.5.1 Embalatge final de la PCB

### 4.5.1 Connexionat dels termoparells amb el sistema d'adquisició

Per la connexió dels termoparells s'ha optat per utilitzar una regleta de 4 contactes. S'ha de tenir en compte que tenim com a requeriment que els termoparells han de ser fàcilment intercanviables en cas de que es produeixi alguna anomalia de funcionament en algun d'ells.



Fig. 4.5.2 Detall de l'interior de la caixa del PCB

Referent a aquest punt, cal dir que la solució més fàcil hauria estat connectar els termoparells directament en bornes dels pins d'entrada del AD594, però d'aquesta manera no hauríem complert aquest requeriment.

Per tal de complir-lo, es connecten els termoparells en una regleta amb connexions de coure i per connectar la regleta a l'entrada del AD594, s'utilitzen cables d'aquest mateix material.

Tal i com hem vist en l'apartat 2.6 del capítol 2, aquests cables de coure podrien generar un voltatge de Seebeck si la temperatura en l'entrada del AD594 fos diferent a la temperatura en la regleta. Si això es complís, com que els 2 cables generarien la mateixa tensió de Seebeck però en signe oposat, la seva aportació seria nul·la i no afectaria en la mesura del sistema.

Hi ha però, una altra variable que podria portar problemes. S'ha de tenir en compta que el AD594 incorpora un sensor de temperatura intern i realitza la compensació de la unió freda a través del valor aportat per aquest sensor de temperatura. Així que, si la temperatura que hi ha en la regleta on es connecten els termoparells és diferent a la temperatura que llegeix el AD594, es podria alterar la lectura.

Per evitar que això passi, s'ha obert l'interior de la regleta per tal de connectar tèrmicament l'interior de la caixa amb la connexió dels termoparells, i s'ha intentat ventilar la caixa de la forma més eficient possible.

Com a resultat, no s'ha observat diferència entre les temperatures realitzades amb els termoparells connectats directament en bornes del AD594, o connectats a través de la regleta de 4 contactes.

## Capítol -5 Resultats finals del projecte

### 5.1 – Assajos realitzats en la càmera climàtica d'Elausa

Els assajos de temperatura que es portaran a terme, una vegada el sistema estigui en funcionament a Elausa, correspondran a mesurar la temperatura de components de circuits electrònics en funcionament sota condicions extremes de temperatura.

Aquests assajos es porten a terme a la càmera climàtica. La càmera climàtica que s'utilitza, correspon al model CCK 180 de dycometal, tal i com podem observar en la següent figura:



Fig. 5.1.1 Càmera climàtica utilitzada per les proves a Elausa

#### 5.1.1 - Característiques principals càmera climàtica

A- Aquesta càmera climàtica està construïda sobre una estructura de tub d'acer, i externament està formada per xapa d'acer zincat, amb la superfície interior fabricada en acer inoxidable.



B- Les temperatures límit de funcionament són de  $-40^{\circ}\text{C}$  i  $+150^{\circ}\text{C}$ , i és capaç de variar en  $1^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  de gradient tèrmic en fred, i  $2^{\circ}\text{C}/\text{minut}$  en gradient tèrmic en calent.

C- Entre els rangs de temperatura compresos entre  $10$  i  $85^{\circ}\text{C}$  és capaç de generar un nivell d'humitat entre un  $15\%$  i un  $98\%$  d'humitat relativa.

### 5.1.2 - Funcionament

Les temperatures de funcionament i la durada de les proves es pot configurar des de un PC. Es programa una temperatura, o una seqüència on s'aconsegueixin diferents temperatures amb diferents temps de pujada, baixada, estabilització etc.

En la següent figura podem observar una captura de pantalla del iTools, que és el programa de control de la càmera climàtica:

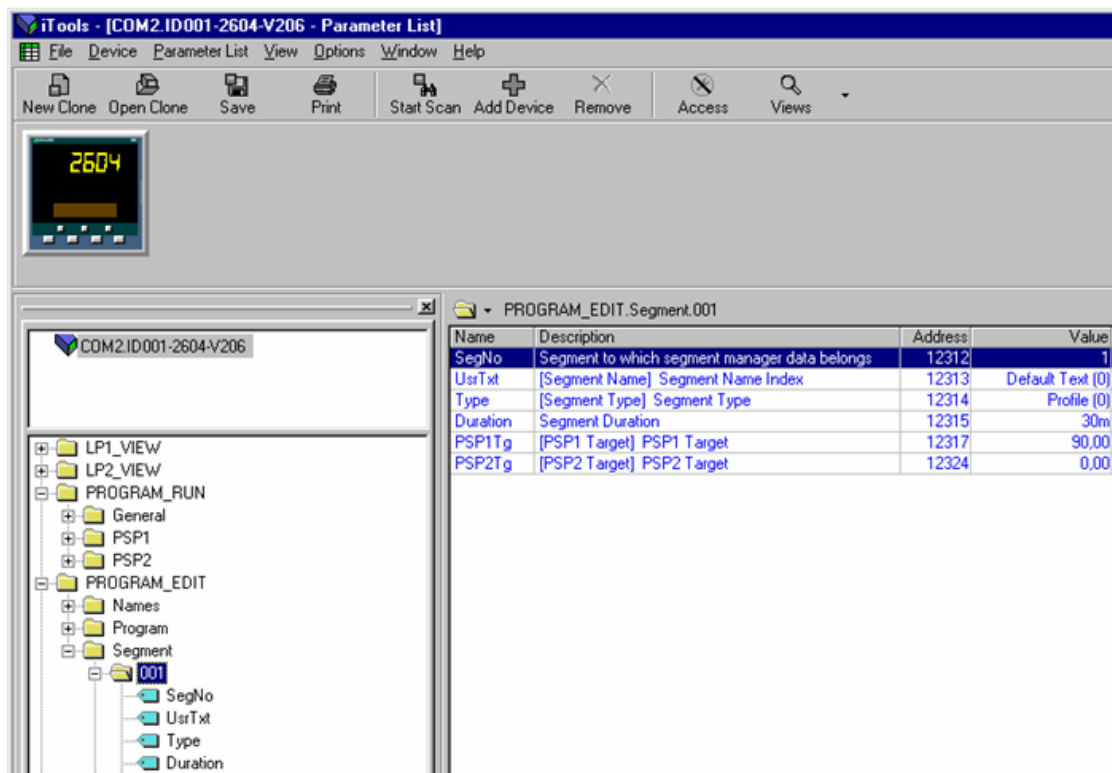


Fig. 5.1.2 Captura pantalla de configuració del programa iTools.

En la figura 5.1.2, es mostra la programació d'una secció del test. En aquesta secció en concret es mantindrà una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$  durant 30 minuts de durada.

## 5.2 - Calibratge del sistema i proves realitzades

Les proves que s'han realitzat a la càmera climàtica per tal de comprovar quins resultats obteníem amb el nostre sistema. S'ha procedit segons veiem a continuació:

- 1- Calibratge del sistema d'adquisició de dades.
  - Inicialment s'havia calibrat el sistema amb un termòmetre digital a temperatura ambient, però al fer les proves a la càmera s'ha tingut de variar lleugerament l'offset de tensió amb el qual ajustem la tensió inicial a través de l'amplificador sumador.
  - Com a eina per portar a terme el calibratge, s'ha utilitzat el datalogger que s'utilitza habitualment a Elausa per realitzar aquest tipus de proves, element que ha estat calibrat a les instal·lacions de LGAI.



Fig. 5.2.1 Mòdul Hewlett Packard utilitzat pel calibratge del sistema.

### 5.2.1 Assaig de calibratge realitzat

S'ha realitzat un assaig de 7h de durada, mesurant les temperatures amb els 2 termoparells "a l'aire" dintre la càmera climàtica, lligats amb el termoparell connectat amb el sistema d'adquisició de Hewlett Packard utilitzat com a aparell de calibratge pel nostre sistema, tal i com es pot veure en la figura següent:



Fig. 5.2.2 Col·locació dels 3 termoparells pel calibratge del sistema.

- La configuració del programa utilitzat per realitzar l'assaig de calibratge del sistema respon a la següent seqüència:

- 1) Estabilitzar la temperatura a 25°C durant 30min
- 2) Es programa una rampa de pujada de 25°C a 90°C
- 3) Arribats als 90°C es provoca una forta baixada de t<sup>a</sup> de 30°C.
- 4) Es puja altre cop a 90°C.
- 5) S'estabilitza la t<sup>a</sup> a 90°C durant 30 minuts.
- 6) Es baixa a la temperatura mínima que aconseguix la càmera.

- La gràfica de la càmera climàtica que descriu la seqüència anterior es mostra en el següent gràfic:

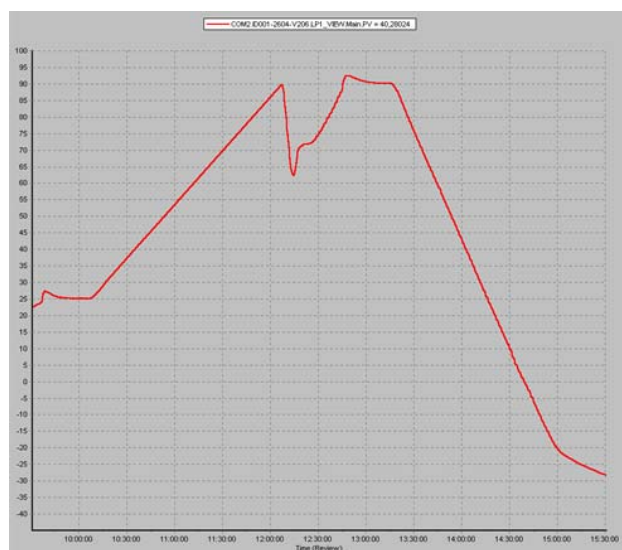


Fig. 5.2.3 Seqüència de temperatures de la càmera climàtica

- La gràfica de funcionament obtinguda amb el sistema d'adquisició de Hewlett Packard que utilitzem com a referència de funcionament per el nostre sistema és el següent:

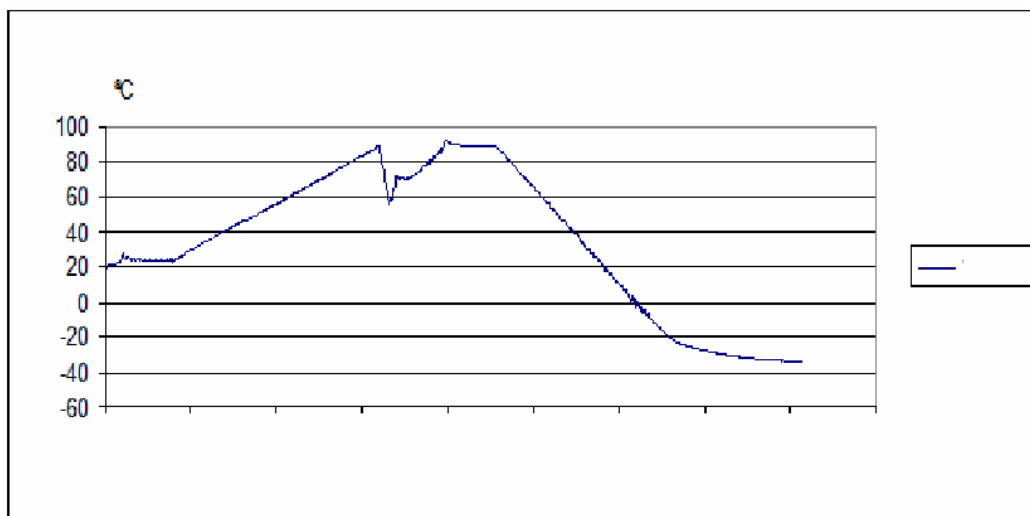


Fig. 5.2.4. Gràfica registrada per el datalogger Hewlett Packard

La gràfica corresponent al nostre sistema, registrada durant la prova de calibratge és la que es mostra a continuació:

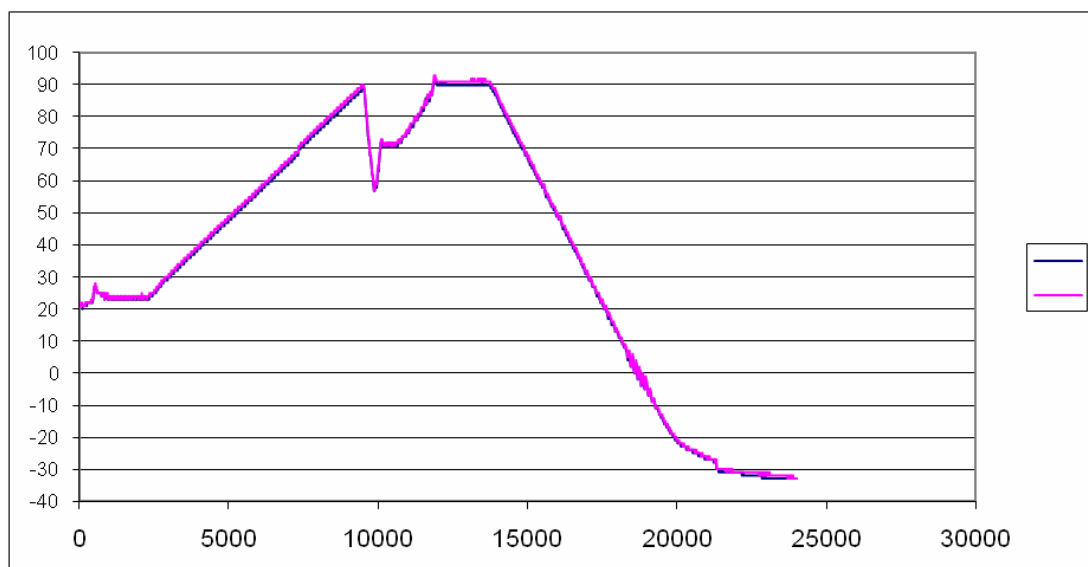


Fig. 5.2.5. Gràfica registrada per el nostre sistema d'adquisició

Observant la figura 5.2.5, veiem que els 2 termoparells es comporten de forma molt similar. La temperatura enregistrada per el termoparell 1 era sensiblement més alta que l' enregistrada per el termoparell 0 i es va corregir l'offset inicial. Després d'aquest ajust, pràcticament no s'observen diferències en el seu funcionament.

Per tal de calibrar el sistema es va observar tant en temps real com posteriorment comparant els registres generats tant per el sistema de Hewlett Packard com per el nostre, i els resultats van demostrar que el funcionament del nostre sistema era satisfactori.

En determinades parts de la prova, pràcticament no s'aprecia diferència en la mesura obtinguda, ja que aquesta coincideix amb molta exactitud en la temperatura obtinguda per el mòdul de Hewlett Packard. També s'ha de dir que en determinats moments, com en la rampa de pujada a 90°C o en la rampa de baixada a -30°C es van registrar diferències de temperatures entre 1°C i 2°C. Aquestes diferències que no suposen cap problema d'utilització del sistema, ja que aquestes variacions estan dintre dels objectius marcats inicialment.

A continuació es pot veure una captura on s'observa una comparativa entre els valors enregistrats pel mòdul HP i el nostre sistema durant un instant de la rampa de pujada de 25°C a 90°C:

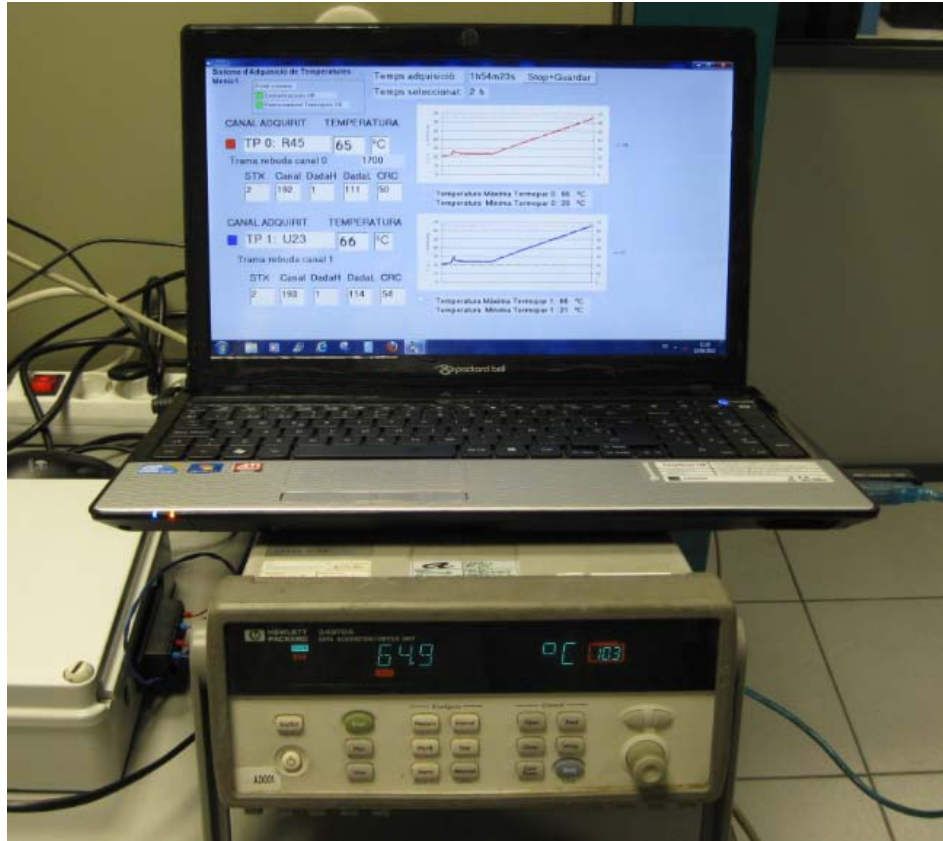


Fig. 5.2.6. Comparativa instantània de funcionament entre el nostre sistema i el mòdul de Hewlett Packard.

En la captura s'observa com la diferència de temperatura és mínima entre el termoparell 0 i l'aparell de referència, i com la variació és de 1°C en el cas del termoparell 1, abans d'ajustar l'offset d'aquest últim.

## Conclusions finals:

Per tal de comprovar si els objectius marcats inicialment s'han complert, procedim a repassar quins eren aquests objectius inicials i quins resultats hem obtingut:

- A- El sistema dissenyat pot enregistrar 2 temperatures, dintre d'un rang de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+240^{\circ}\text{C}$ . (provat fins a  $-33^{\circ}\text{C}$ , ja que és el límit inferior de temperatura que ha assolit la càmera climàtica).
- B- Amb la incorporació d'un mòdul de radio freqüència, les dades adquirides es poden enviar en un PC situat a una altra sala de on s'estan registrant les temperatures. En aquesta altra sala, es visualitza l'adquisició en temps real a través del programa de Visual Basic. Cal destacar que alhora de realitzar diferents proves amb aquest sistema, s'ha situat el mòdul receptor en la ubicació on s'utilitzarà normalment aquest sistema d'adquisició de dades, situat a uns 30 metres de la sala on està situada la càmera climàtica, corresponent al lloc de treball del responsable de proves. En tot moment el sistema ha presentat un funcionament estable i sense problemes.
- C- Exactitud del sistema:  
Durant l'assaig s'han enregistrat unes diferències mínimes en determinats moments, igualant el valor registrat per l'aparell de referència, i les diferències màximes han estat entre  $1^{\circ}\text{C}$  i  $2^{\circ}\text{C}$  en moments puntuals, fet que compleix els objectius en quan a precisió del sistema marcats com a objectiu.
- D- Generar arxiu d'Excel per guardar els resultats:  
Un altre objectiu era el de poder generar un registre amb les temperatures enregistrades. Aquest objectiu també s'ha complert. En el registre en format excel, es guarda en intervals d'1 segon, la temperatura adquirida per cada un dels termoparells. Es guarda també la temperatura màxima i mínima obtinguda. En cas que s'hagi produït algun error durant l'assaig, en l'arxiu d'excel es mostrarà quin ha estat aquest error, i en quin moment s'ha produït.
- E- A part d'enregistrar l'error ocorregut en l'arxiu d'excel, quan es produeix un error en el sistema, es mostra un formulari indicant quin és l'error que s'ha produït, i si s'opta per reparar i continuar amb l'assaig, llavors es mostra per pantalla que el sistema s'ha recuperat d'un error, per indicar que possiblement poden haver-hi paràmetres erronis com per exemple, la temperatura màxima i mínima presentada.
- F- Altres objectius com, poder alimentar des de un punt de red de 230v 50Hz, poder adquirir fins 8h hores d'assaig, o poder parar i guardar el registre en qualsevol moment que l'usuari ho sol·liciti, també s'han complert.
- G- Per últim, també es compleix el requeriment que els termoparells han de ser fàcilment intercanviables, en cas de que es produeixi alguna anomalia de funcionament en algun d'ells.

Podem concloure que amb la realització d'aquest sistema s'han complert els objectius inicialment proposats.

## Possibles millores del sistema:

Tot i que s'ha comentat que el sistema compleix les especificacions i els objectius definits inicialment, el sistema es podria millorar en diferents aspectes com els que passem a veure a continuació:

Com a possibles millores en aquest sistema podríem incloure:

- 1- Realitzar una ampliació sobre els canals adquirits pel sistema. (2 canals més).
- 2- Realitzar una comunicació bidireccional full dúplex per tal de poder configurar diferents paràmetres de l'adquisició com podria ser el temps d'adquisició del microcontrolador en funció del temps de l'assaig escollit, poder variar el baud rate de comunicació etc.
- 3- Connectar el mòdul de transmissió de ràdio freqüència a sortides digitals del microcontrolador per tal de poder seleccionar la freqüència en la que oscil·la l'emissor i receptor i canviar el canal de comunicació.
- 4- Realitzar un convertidor de USB en el mòdul receptor per tal de poder prescindir de l'adaptador RS232-USB que s'utilitza actualment en PC que no incorporen entrada RS232 de port sèrie.

## Valoració personal:

Aquest projecte s'ha portat a terme en 2 fases. La primera fase va començar al febrer de 2005 un cop finalitzades les assignatures de la carrera, i per motius personals, al juliol de 2006 es va deixar parat. Durant aquesta primera fase es va realitzar pràcticament la totalitat de la part tècnica del projecte. Es va dissenyar el hardware de la placa d'adquisició, es van fabricar les 2 versions de PCB, es va dissenyar el software del microcontrolador, i una part del software de visual basic. Fins aquest moment, el projecte adquiria temperatures i les mostrava per el PC connectat a través de cable via rs232. El programa realitzat en Visual Basic únicament presentava el valor de la temperatura adquirida per cada termoparell, mostrava la trama rebuda pels 2 canals.

Al febrer de 2012 es va reprendre el projecte. Primer de tot, es va fer un balanç sobre quin era l'estat en que es trobava, i quins eren els punts que s'havien d'ampliar per tal de complir els objectius definits inicialment. Aquests punts eren principalment 4:

- 1- Guardar les dades adquirides en un fitxer d'Excel per tal de poder tractar els resultats obtinguts i incloure'ls en l'informa sobre la prova realitzada.
- 2- Calibratge del sistema
- 3- Implementar un mòdul de radiofreqüència dissenyat a Elausa, per tal de permetre la comunicació del sistema d'adquisició de dades amb el lloc de treball del responsable de proves.
- 4- Realitzar la memòria.

A l'hora de reprendre el projecte, es va començar per modificar el programa de visual basic per tal de guardar els resultats en un fitxer d'Excel. Una vegada complert aquest objectiu, van sorgir més punts de millora del programa, els quals es mostren en l'apartat A de l'annex d'aquesta memòria.

El segon punt que quedava pendent era el calibratge del sistema explicada anteriorment i la part del mòdul de RF.

Concretament, la implantació del mòdul de RF va portar més feina de l'esperada. Inicialment es pensava en utilitzar un mòdul de radiofreqüència via zigbee dissenyat a Elausa anteriorment. Aquest sistema no estava pensat per portar a terme una comunicació punt a punt com la que es pretenia en el nostre sistema, i no es va aconseguir que funcionés. Així que es va buscar informació sobre alternatives, i es va trobar interessant una opció, utilitzant un sistema de radiofreqüència FSK a través de 2 mòduls transceiver. Aquest sistema després de l'adaptació comentada al final del capítol 6, va funcionar correctament i va atorgar al projecte la prestació que faltava per complir els objectius marcats, ja que tot i que aquest mòdul de RF no es dissenya en el projecte, si que és un requeriment per complir els objectius marcats.

Fent un balanç al final del projecte, em queden 2 sentiments oposats. Per una banda, em penedeixo de no haver continuat i acabat el projecte 6 anys enrere, ja que tot i que quedava feina per fer, dedicant-hi 4 mesos més de forta dedicació, es podia acabar tal i com he fet aquest any.

Però per altra banda, valoro molt positivament la decisió que vaig prendre de continuar i acabar-lo, ja que vaig aprendre moltes coses durant la realització de la primera part



del projecte, i també n'he après moltes d'altres en la segona part que ha tingut lloc aquest any.

Considero que és un projecte complet, en el que es dissenya una part de hardware, es dissenya el circuit imprès, es programa un microcontrolador, i es realitza un software en un llenguatge de programació d'alt nivell com és el Visual Basic.

És just reconèixer que la formació adquirida durant aquests estudis universitaris, m'han servit moltíssim alhora de realitzar aquest projecte, ja que sense els coneixements adquirits en aquests estudis no hauria estat capaç de poder ampliar els meus coneixements en el món de l'electrònica i la programació per tal de portar a bon port un projecte com aquest.

També s'ha de dir que he quedat satisfet amb els resultats obtinguts, ja que s'ha aconseguit complir els objectius demanats per part dels responsables d'Elausa que utilitzaran aquest projecte.

## Bibliografia

BAYLESTAD, R. Y NASHELSKY, L. Electrónica. Teoría de circuitos. Prentice-Hall, 1997

HALVORSON, Michael. Manual del programador en Visual Basic 6.0. 4a Ed. McGraw Hill, 1999

ICL7660, April 1999 File Number 3072.2

DS39605C, 2004 Microchip Technology Inc.

LM6132, DS012349, 2000 National Semiconductor Corporation

Ad594/ad495 cf31G-0-11/99, 1999 Analog Devices, Inc

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7347#toc1>

(Consulta Març 2012)

<http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE%28c%29.htm>

(Consulta Abril 2012)

<http://www.orcad.com/>

(Consulta: Abril 2005)

<http://tec.upc.es/ep/Componentes.pdf>

(Consulta Maig 2005)

[http://www.efunda.com/designstandards/sensors/thermocouples/thmcple\\_theory.cfm](http://www.efunda.com/designstandards/sensors/thermocouples/thmcple_theory.cfm)

(Consulta Abril 2012)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>

(Consulta Febrer 2005)

[http://www.pyromation.com/downloads/data/emfj\\_c.pdf](http://www.pyromation.com/downloads/data/emfj_c.pdf)

(Consulta Febrer 2005)

<http://www.softwareinnova.com/eni/tabllainfotec.asp>

(Consulta Febrer 2012)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n\\_y\\_exactitud](http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n_y_exactitud)  
(Consulta Abril 2012)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Precisi%C3%B3n>  
(Consulta Abril 2012)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3n\\_digital](http://es.wikipedia.org/wiki/Resoluci%C3%B3n_digital)  
(Consulta Abril 2012)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Error\\_de\\_cuantificaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Error_de_cuantificaci%C3%B3n)  
(Consulta Abril 2012)

<http://www.eetimes.com/design/embedded/4025078/Understanding-analog-to-digital-converter-specifications>  
(Consulta Abril 2012)

<http://support.microsoft.com/kb/247412/es>  
(Consulta Març 2012)

# Annex

## Annex:

### A- Modificacions del programa visual bàsic realitzades en la 2a fase del projecte.

Incloure un gràfic que mostrés l'evolució de les temperatures adquirides per tal que permetés comprovar el comportament dels components analitzats durant un assaig, simplement mirant a la pantalla.

Mostrar la temperatura màxima i la mínima assolida durant l'assaig.

Es va afegir un sistema d'estat del sistema que mostrava si el funcionament del sistema era correcte o si per el contrari s'havia produït algun problema en el funcionament d'algun termoparell. Aquesta part va ser possible implementar-la ja que inicialment en l'esquema i en el traçat de pistes del PCB ja s'havia deixat previst aquest punt, i únicament es van tenir que muntar els components que formaven la circuiteria necessària per portar a l'entrada del microcontrolador un nivell baix o un nivell alt per informar sobre si s'havia produït o no un estat d'alarma en algun dels termoparells.

Per tal de portar a terme aquest requeriment, també va ser necessari modificar el programa del microcontrolador, afegint els mòduls que es descriuen en l'apartat de software corresponents a l'alarma del termoparell 1 o termoparell 0.

Es va afegir un comptador que indicava el temps d'assaig que es portava des de l'inici de la prova.

Es va afegir el formulari inicial que permet configurar els paràmetres de l'adquisició.

### B- Codi programa en assemblador PIC18F1220:

```
*****
;
; This file is a basic template for assembly code for a PIC18F1220. Copy *
; this file into your project directory and modify or add to it as needed. *
;
;
; The PIC18FXXXX architecture allows two interrupt configurations. This *
; template code is written for priority interrupt levels and the IPEN bit *
; in the RCON register must be set to enable priority levels. If IPEN is *
; left in its default zero state, only the interrupt vector at 0x008 will *
; be used and the WREG_TEMP, BSR_TEMP and STATUS_TEMP variables will not *
; be needed.
;
;
; Refer to the MPASM User's Guide for additional information on the *
; features of the assembler.
;
;
; Refer to the PIC18F1220/1320 Data Sheet for additional information on the *
; architecture and instruction set.
;
;
*****
;
;
; Filename: David Mercader *
; Date: 02/03/2006 *
; File Version: *
;
;
```

```

; Author:
; Company:
;
;
;*****
;
;
; Files required: P18F1220.INC
;
;*****

LIST P=18F1220 ;directive to define processor
#include <P18F1220.INC> ;processor specific variable definitions

;*****
;
;Configuration bits
;Microchip has changed the format for defining the configuration bits, please
;see the .inc file for futher details on notation. Below are a few examples.

__CONFIG __CONFIG1H, _IESO_ON_1H & _FSCM_OFF_1H & _XT_OSC_1H ;se selecciona el
crystal extern de 4Mhzcom a oscil.lador
__CONFIG __CONFIG2L, _PWRT_ON_2L & _BOR_OFF_2L & _BORV_45_2L
__CONFIG __CONFIG2H, _WDT_OFF_2H & _WDTPS_32K_2H
__CONFIG __CONFIG3H, _MCLRE_ON_3H
__CONFIG __CONFIG4L, _DEBUG_OFF_4L & _LVP_OFF_4L & _STVR_ON_4L ;es deshabilita el
mode LVP (low voltage program)

__CONFIG __CONFIG5L, _CP0_OFF_5L & _CP1_OFF_5L
__CONFIG __CONFIG5H, _CPB_OFF_5H & _CPD_OFF_5H
__CONFIG __CONFIG6L, _WRT0_OFF_6L & _WRT1_OFF_6L
__CONFIG __CONFIG6H, _WRTC_OFF_6H & _WRTB_OFF_6H & _WRWD_OFF_6H
__CONFIG __CONFIG7L, _EBTR0_OFF_7L & _EBTR1_OFF_7L
__CONFIG __CONFIG7H, _EBTRB_OFF_7H

;*****
;
;Variable definitions
; These variables are only needed if low priority interrupts are used.
; More variables may be needed to store other special function registers used
; in the interrupt routines.

; CBLOCK 0x080
; WREG_TEMP ;variable used for context saving
; STATUS_TEMP ;variable used for context saving
; BSR_TEMP ;variable used for context saving
; ENDC

; CBLOCK 0x000
; EXAMPLE ;example of a variable in access RAM
; ENDC

;***** DEFINICIONS DE VARIABLES (RAM) *****
; RAM bank0:

;Variables programa de prova de les interrupcions i les sortides portB

VAR_0 EQU 20H ;bit de control entrada rutina
VAR_T0 EQU 21H ;compta els overflows del timer 0
SELECCIO_CANAL EQU 22H ;amb el bit 0 de la variable es selecciona CANAL-1,0
CONTROL_LEDS EQU 23H
FLAG_ENVIAR EQU 24H
COMANDO EQU 25H

STATUS_TEMP EQU 26H ;variables retorn interrupció
WREG_TEMP EQU 27H ; " " "
BSR_TEMP EQU 28H ; " " "

INICIALITZAR_TIMERS EQU 29H
TERMOPAR_L EQU 30H

```

```

TERMOPAR_H      EQU      31H
DADA1           EQU      32H
DADA2           EQU      33H
DADA3           EQU      34H
DADA4           EQU      35H
DADA5           EQU      36H
DADA6           EQU      37H
CRC             EQU      38H
ERROR_TP1      EQU      39H
ERROR_TP0      EQU      40H

```

```

;*****
;
;EEPROM data
; Data to be programmed into the Data EEPROM is defined here

```

```

; ORG 0xf00000
; DE "Test Data",0,1,2,3,4,5

```

```

;*****
;
;Reset vector
; This code will start executing when a reset occurs.

```

```

ORG 0x0000
goto MAIN ;go to start of main code

```

```

;*****
;
;High priority interrupt vector
; This code will start executing when a high priority interrupt occurs or
; when any interrupt occurs if interrupt priorities are not enabled.

```

```

;*****
;
;CODI RUTINA INTERRUPTIO TIMER_0
;*****
;

```

```

;es prescindeix de les prioritats de les interrupcions,
;saltant de l'adreça de prioritat alta a la baixa directament

```

```

ORG 0x0008 ;Amb el bit IPEN=0 de RCON totes les interrupcions salten aqui
; bra HighInt ;go to high priority interrupt routine

```

```

;*****
;
;Low priority interrupt vector and routine
; This code will start executing when a low priority interrupt occurs.
; This code can be removed if low priority interrupts are not used.

```

```

ORG 0x0018
movff STATUS,STATUS_TEMP ;save STATUS register
movff WREG,WREG_TEMP ;save working register
movff BSR,BSR_TEMP ;save BSR register

```

```

TIMER0_INT:

```

```

BTSS INTCON,2 ;comprovar que la interrupció és la del timer_0 (INTCON,2 = 1)
GOTO FI_TIMER0_INT ;per si es dona una interrupció que no es del timer_0
BCF T0CON,7 ;Parar timer0
CLRF TMR0H ;inicialitzar el registre de comptatge del timer_0, Part baixa
CLRF TMR0L ;inicialitzar el registre de comptatge del timer_0, Part alta
INCF VAR_T0,F ;incrementar el valor de VAR_T0 (objectiu de la interrupcio)

```

```

                                ;invertir valor (CONTROL_LEDS,0)
BCF INTCON,2                    ;Borrar el flag d'interrupcio per overflow del timer0

FI_TIMER0_INT:

    movff BSR_TEMP,BSR          ;restore BSR register
    movff WREG_TEMP,WREG        ;restore working register
    movff STATUS_TEMP,STATUS    ;restore STATUS register
    retfie

;*****
;High priority interrupt routine
; The high priority interrupt code is placed here to avoid conflicting with
; the low priority interrupt vector.
;HighInt:

;    INCF VAR_T0,F
;    BCF INTCON,2                ;Borrar el flag d'interrupcio per overflow del timer0

;    retfie FAST                 ;Retorna a la mateixa linia de codi que es trobava l'apuntador abans
;                                ;de produir-se la interrupció.

MAIN

INICIALITZACIONS

CLRF WDTCON                      ;assegurar que no s'activi el watch dog

;-----;

;Inicialitzar Timer0
CLRF TMR0H                       ;inicialitzar part alta timer_0
CLRF TMR0L                       ;inicialitzar part baixa timer_0
MOVLW 0x08                       ;carregar el literal 08h a l'acumulador
MOVWF T0CON                      ;carregar el valor de l'acumulador al registre TOCON
                                ;(configura el timer 0 en mode de 16 bits sense
                                ;prescaler, i timer parat de moment, internal cycle
                                ;clock, increment per flanc de pujada)

;Inicialitzar Interrupció Timer0
MOVLW 0xA0                       ;habilitar totes les interrupcions sense prioritat, activa interrupcions
                                ;periferiques, activa la ;interrupció del timer0 per overflow, desactiva
                                ;interrupcions externes, int port b.

MOVWF INTCON
BCF RCON,7                       ;posant a 0 el bit-7 de RCON (ipen=0) es desactiva
                                ;el nivell de prioritat de les interrupcions

;-----;

;CONFIGURACIÓ DELS PORTS

;Configurar canals analògics/digitals
MOVLW 0x7C                       ;activar com a canals analogics i/o; RA0(AN0),RA1(AN1).
MOVWF ADCON1                     ;activar com a canals digitals i/o
                                ;RA2(AN2),RA3(AN3),RB0(AN4),RB1(AN5).
                                ;la resta de ports són digitals

;Configurar i/o port A
MOVLW 0xE3                       ;configurar com a entrades del portA els bits

```



```

MOVWF TRISA          ;RA0,RA1,RA5,RA6,RA7, i com a sortides RA2,RA3, RA4.

;Configurar i/o port B (amb aquesta configuració, s'inclou la configuració del USART)
MOVLW 0x17          ;configurar com a entrades del portB els bits
MOVWF TRISB        ;RB0,RB1,RB2,RB4 i com a sortides els bits RB3,RB5,RB6 RB7

;Inicialitzar el port A
CLRF PORTA         ;posar a 0 els output data latch del port a

;Inicialitzar el port B
;MOVWF PORTB
CLRF PORTB         ;inicialitzar portB, posa a zero tots els latch de sortida

;INICIALITZAR CONVERTIDOR ANALÒGIC DIGITAL
MOVLW 0x95
MOVWF ADCON2       ;Configurar el temps d'adquisició i el temps de conversió
MOVLW 0x01
MOVWF ADCON0       ;Inicialment es selecciona el canal-0 per a fer la primera adquisició

;INICIALITZAR USART
MOVLW 0x19
MOVWF SPBRG        ;seleccionar el baud rate de 9600 (moure el valor 25 en decimal,
;segons taula pag-139)

MOVLW 0x20
MOVWF TXSTA        ;Configurar el registre de transmissió amb; 8bits de dades, mode
;asincron, BRGH=0

MOVLW 0x80
MOVWF RCSTA        ;Habilitar el port serie (bit7=1)
MOVLW 0x08
MOVWF BAUDCTL      ;Configurar el baud rate (BRG16=1)

;-----;

;INICIALITZAR RAM
CLRF VAR_T0
CLRF CONTROL_LEDS ;VARIABLE DE CONTROL DELS LEDS 0:LEDS DESACTIVATS , 1:LEDS
ACTIVATS
CLRF SELECCIO_CANAL ; Canal seleccionat
CLRF ADRESL         ; Convertidor a/d
CLRF ADRESH        ; " "
CLRF VAR_0         ; Variables control
CLRF CRC           ; " "
CLRF FLAG_ENVIAR   ; " "
CLRF COMANDO       ; " "
CLRF INICIALITZAR_TIMERS ; " "
CLRF TERMOPAR_L   ; Valor conversió a/d
CLRF TERMOPAR_H   ; " "
CLRF DADA1        ; Dades trama
CLRF DADA2        ; " "
CLRF DADA3        ; " "
CLRF DADA4        ; " "
CLRF DADA5        ; " "
CLRF DADA6        ; " "
CLRF ERROR_TP0    ; Errors tp
CLRF ERROR_TP1    ; " "

;-----;

MAIN_LOOP
CALL RUTINA_ERROR_TP0
CALL RUTINA_ERROR_TP1
CALL CONVERTSOR_AD
CALL ESTAT_PROTÓCOL
CALL ENVIAR_USART
CALL RUTINA_ESPERA_1_SEGON

;CALL SEQUENCIA_LEDS

```

GOTO MAIN\_LOOP

-----;

CONVERSOR\_AD

;RUTINA DE SELECCIONAR EL CANAL

BTFSK SELECCIO\_CANAL,0 ;Si selecció\_Canal=0 anar a canal\_0

GOTO CANAL\_1 ;Si selecció\_Canal=1 anar a canal\_1

GOTO CANAL\_0

;RUTINA D'ADQUIRIR I CONVERTIR EL CANAL\_0

CANAL\_0

MOVLW 0x01

MOVWF ADCON0

BSF ADCON0,1 ;començar l'adquisició i la conversió

BUCLE\_CANAL\_0

CLRWDI

BTFSK ADCON0,1 ;Refrescar el reset del WATCHDOG continuament

;si el bit 1 del adcon0 és 0 (GO/DONE=DONE) salta (ha

;acabat la conversió, acaba el programa)

;si el bit 1 del adcon0 és 1 (GO/DONE=GO) encara no ha

;acabat la conversió i fa el bucle.

BTFSK SELECCIO\_CANAL,0 ;posar a 1 el bit-0 de la variable de selecció del canal.

BSF VAR\_0,0 ;estat protocol en ON (permet entrar a la rutina següent)

;gestió error tp0

BTFSK ERROR\_TP0,0

MOVLW 0xC0

BTFSK ERROR\_TP0,0

MOVLW 0XE0

MOVWF WREG,DADA2 ;mostra canal\_0 en el 2on bit de la trama

BCF ERROR\_TP0,0

BSF PORTB,5 ;desactivar led5

BCF PORTB,3 ;activar led3

RETURN

;RUTINA D'ADQUIRIR I CONVERTIR EL CANAL\_1

CANAL\_1

MOVLW 0x05

MOVWF ADCON0

BSF ADCON0,1 ;començar l'adquisició i la conversió

BUCLE\_CANAL\_1

CLRWDI

BTFSK ADCON0,1 ;Refrescar el reset del WATCHDOG continuament

;si el bit 1 del adcon0 és 0 (GO/DONE=DONE) salta (ha

;acabat la conversió, acaba el programa)

;si el bit 1 del adcon0 és 1 (GO/DONE=GO) encara no ha

;acabat la conversió i fa el bucle.

BCF SELECCIO\_CANAL,0 ;posar a 1 el bit-0 de la variable de selecció del canal.

BSF VAR\_0,0 ;estat protocol en ON (permet entrar a la rutina següent)

;gestió error tp1

BTFSK ERROR\_TP1,0

MOVLW 0xC1

BTFSK ERROR\_TP1,0

MOVLW 0xE1

MOVWF WREG,DADA2 ;mostra canal\_1 en el 2on bit de la trama

BCF ERROR\_TP1,0

BSF PORTB,3 ;desactivar led3

BCF PORTB,5 ;activar led5

RETURN

-----;

ESTAT\_PROTOCOL

BTFSK VAR\_0,0

GOTO MAIN\_LOOP

;COMENÇA SEQÜENCIA ESTAT\_PROTOCOL

MOVWF ADRESL,WREG

MOVWF TERMOPAR\_L ;guarda la part baixa de la dada adquirida a la variable

;TERMO\_0L independentment del canal utilitzat.

MOVWF ADRESH,WREG

```

MOVWF TERMOPAR_H           ;guarda la part alta de la dada adquirida a la variable
                             ;TERMO_OH independentment del canal utilitzat

;DADES_ENVIADES1
MOVLW 0x02
MOVFF WREG,DADA1           ;dada 1 "stx"
;DADES_ENVIADES2           ;ja configurat en la rutina del ADCON
;DADES_ENVIADES3
MOVFF TERMOPAR_H,DADA3     ;dada 3 "part alta dada, canal mostrejat"
;DADES_ENVIADES4
MOVFF TERMOPAR_L,DADA4     ;dada 4 "part baixa dada, canal mostrejat"
;SUMA DADES_ENVIADES       ; (CRC) --> CRC = DADA1 + DADA2 + DADA3 + DADA4
CLRF CRC
MOVFF DADA1,WREG
ADDWF DADA2,W
ADDWF DADA3,W
ADDWF DADA4,W
;CRC VAL LA SUMA DE; DADA1 + DADA2 + DADA3 + DADA4
MOVFF WREG,CRC
;PART BAIXA CRC
MOVFF CRC,WREG
;ANDLW 0x0F                 ;es borra la part alta de la dada
MOVWF DADA5                 ;a dada 5 es guarda la part baixa del CRC
CLRF VAR_0,0                ;estat protocol repòs
BSF FLAG_ENVIAR,0           ;permet entrar a la rutina enviar
RETURN

```

;------;

```

ENVIAR_USART
BSF TXSTA,TXEN             ;activar transmissió
BTFSS FLAG_ENVIAR, 0
GOTO FI_USART
BTFSS TXSTA,1
GOTO FI_USART
TREURE_DADA_1
MOVFF DADA1,WREG
MOVWF TXREG                 ;Enviar STX
CALL ESPERAR_TRANSMISSIO   ;esperar a que el buffer tx estigui buit
TREURE_DADA_2
MOVFF DADA2,WREG
MOVWF TXREG                 ;Enviar CANAL_SELECCIONAT
CALL ESPERAR_TRANSMISSIO   ;esperar a que el buffer tx estigui buit
TREURE_DADA_3
MOVFF DADA3,WREG
MOVWF TXREG
CALL ESPERAR_TRANSMISSIO   ;espero a que el buffer tx estigui buit
TREURE_DADA_4
MOVFF DADA4,WREG
MOVWF TXREG                 ;Enviar PART ALTA DADA
CALL ESPERAR_TRANSMISSIO   ;esperar a que el buffer tx estigui buit
TREURE_DADA_5
MOVFF DADA5,WREG
MOVWF TXREG                 ;Enviar CRC
CALL ESPERAR_TRANSMISSIO   ;esperar a que el buffer tx estigui buit
;fi de treure les dades
BCF FLAG_ENVIAR, 0         ;Posar a 1 el flag enviar, per tal que no entri de nou fins que
                             ;es torni a posar a 0 (rutina ESTAT_PROTOCOL)

CLRF TERMOPAR_L
CLRF TERMOPAR_H
FI_USART
RETURN

```

;------;

ESPERAR\_TRANSMISSIO

```

CLRWDT
BTFS TXSTA,1           ;mentre el bit TRMT (bit 1 del registre TXSTA) estigui a 0, encara
                       ; s'està transmetent la dada.
GOTO ESPERAR_TRANSMISSIO
RETURN

;-----;

RUTINA_ERROR_TP0
BTFS PORTB,0           ;si es dóna error_en tp0 salta a fallo_tp0
GOTO NO_FALLO_TP0
GOTO FALLO_TP0

FALLO_TP0
BSF ERROR_TP0,0
BCF PORTB,6           ;activar led 6 d'error
GOTO SORTIR_TP0

NO_FALLO_TP0
BCF ERROR_TP0,0
BSF PORTB,6           ;desactivar led 6 al no haver-se produït error de tp0

SORTIR_TP0
RETURN

;-----;

RUTINA_ERROR_TP1
BTFS PORTB,2           ;si es dóna error_en tp1 salta a fallo_tp1
GOTO NO_FALLO_TP1
GOTO FALLO_TP1

FALLO_TP1
BSF ERROR_TP1,0
BCF PORTB,7           ;activar led 7 d'error
GOTO SORTIR_TP1

NO_FALLO_TP1
BCF ERROR_TP1,0
BSF PORTB,7           ;desactivar led 7 al no haver-se produït error de tp0

SORTIR_TP1
RETURN

;-----;

RUTINA_ESPERA_1_SEGON
BTFS T0CON,7           ;si el timer està engegat, salta
BSF T0CON,7           ;Posa T0CON,7 a 1. "Engegar el comptatge del timer0 si el timer està
                       ;parat (T0CON,7 =0)
MOVLW D'15'           ;desbordant 15 vegades obtenim 1 segon d'espera
SUBWF VAR_T0,W         ;carregar 15 a l'acumulador el qual se'm compara amb VAR_T0, quan
                       ;hi hagin 15 overflows VAR_T0 i W seran iguals.
BTFS STATUS,Z         ;SALTA LA SEGUENT INSTRUCCIO SI Z=1 (VAR_T0=WREG)
GOTO RUTINA_ESPERA_1_SEGON ;si encara no s'han donat 15 overflows, es torna al bucle, per
                       ;esperar a que passin els overflows (tempo 1 segon)
CLRF VAR_T0           ;quan ja s'ha incrementat VAR_T0 en 15 unitats (a la rutina
                       ;d'interrupció) s'inicialitza de nou la variable.
RETURN

END

```

## C- Codi programa de presentació en Visual Basic

### Definició de variables:

Option Explicit

'formulari

Public cont As Double

Public cont2 As Double

Public AdquisicioFinalitzada As Boolean

Public AdquisicioParada As Boolean

Public ControlTimer1 As Boolean

Public inici As Double

'seqüència general

Public borrar As Boolean

Public Taula(1 To 2, 1 To 281) As Double 'matriu de 2 columnes i 281 files

Public TramaRebuda As Variant 'trama rebuda del port serie

Public i As Double

'seqüència

Public CRCRebut As Byte 'crc enviat pel micro

Public CRCCalculat As Byte 'crc que calculem

Public Canal As Byte 'canal enviat

Public Dada1 As Byte

Public Dada2 As Byte

Public valor\_llegit\_codificat As Long

Public valor\_llegit\_codificat2 As Double 'dades

Public valor\_llegit\_en\_tensio As Double

Public TaulaCarregada As Boolean

Public PrimeresDadesRebudes As Boolean

Public ErrorTermopar1 As Boolean

Public ErrorTermopar0 As Boolean

Public ParoErrorTermopar As Boolean

Public TimeOutValor As Long

Public SegonsTranscorreguts As Variant

Public TemperaturaMaxC0 As Double

Public TemperaturaMaxC1 As Double

Public TemperaturaMinC0 As Double

Public TemperaturaMinC1 As Double

Public TancarPrograma As Boolean

'form2

Public DadesEntrades As Boolean

Public tempsseleccionat As Integer

Public TempsSeleccionatCombo As Integer

Public PortSeleccionat As Integer

Public TempsSeleccionatHores As Integer

'form3

Public Termopar\_Reparat As Boolean

'borrar

Public NumFilesBorrar As Double

'base dades excel

Public ObjecteCreat As Boolean

Public GravarEnFitxer As Boolean

Public oExcel As Object

Public oBook As Object

Public oSheet As Object

Public FilaExcel As Long

Public PrimeraAdquisicio As Boolean

Public TempsRegistre As Long

```
Public dia As Date
Public TimeOutComunicacio As Boolean
Public ResultatResta As Double
Public ContadorDespresError As Integer
Public AlgunErrorOcorregut As Boolean
```

```
'rellotge intern
Public Declare Function GetTickCount Lib "kernel32" () As Long
Public Temps1, Temps2, temps, TempsForaMain, TempsMain As Long
```

```
'convertir hores min sec
Public DD As Double
Public HR As Double
Public MS As Double
Public SS As Double
```

## Formulari d'entrada de dades:

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
    DadesEntrades = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    TancarPrograma = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    ' Omplir combo 1
```

```
    Combo1.AddItem "1 minut"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 0
```

```
    Combo1.AddItem "5 minuts"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 1
```

```
    Combo1.AddItem "15 minuts"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 2
```

```
    Combo1.AddItem "30 minuts"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 3
```

```
    Combo1.AddItem "45 minuts"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 4
```

```
    Combo1.AddItem "1 hora"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 5
```

```
    Combo1.AddItem "2 hores"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 6
```

```
    Combo1.AddItem "3 hores"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 7
```

```
    Combo1.AddItem "4 hores"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 8
```

```
    Combo1.AddItem "5 hores"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 9
```

```
    Combo1.AddItem "6 hores"
    Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 10
```

```
Combo1.AddItem "7 hores"  
Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 11
```

```
Combo1.AddItem "8 hores"  
Combo1.ItemData(Combo1.NewIndex) = 12
```

```
' Omplir combo 2
```

```
Combo2.AddItem "Com 1"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 0
```

```
Combo2.AddItem "Com 2"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 1
```

```
Combo2.AddItem "Com 3"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 2
```

```
Combo2.AddItem "Com 4"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 3
```

```
Combo2.AddItem "Com 5"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 4
```

```
Combo2.AddItem "Com 6"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 5
```

```
Combo2.AddItem "Com 7"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 6
```

```
Combo2.AddItem "Com 8"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 7
```

```
Combo2.AddItem "Com 9"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 8
```

```
Combo2.AddItem "Com 10"  
Combo2.ItemData(Combo2.NewIndex) = 9
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Combo1_Click()
```

```
    TempsSeleccionatCombo = CStr(Combo1.ItemData(Combo1.ListIndex))
```

```
Select Case TempsSeleccionatCombo
```

```
    Case 0:                '1 minut d'adquisició  
        tempsseleccionat = 60  
        Form1.Timer1.Interval = 1000
```

```
    Case 1:                '5 minuts d'adquisició  
        tempsseleccionat = 300  
        Form1.Timer1.Interval = 1000
```

```
    Case 2:                '15 minuts d'adquisició  
        tempsseleccionat = 900  
        Form1.Timer1.Interval = 1000
```

```
    Case 3:                '30 minuts d'adquisició  
        tempsseleccionat = 1800  
        Form1.Timer1.Interval = 1000
```

```
    Case 4:                '45 minuts d'adquisició  
        tempsseleccionat = 2700
```

```

Form1.Timer1.Interval = 1500

Case 5:                '1h d'adquisició
    tempsseleccionat = 3600
    Form1.Timer1.Interval = 2000

Case 6:                '2h d'adquisició
    tempsseleccionat = 7200
    Form1.Timer1.Interval = 4000

Case 7:                '3h d'adquisició
    tempsseleccionat = 10800
    Form1.Timer1.Interval = 6000

Case 8:                '4h d'adquisició
    tempsseleccionat = 14400
    Form1.Timer1.Interval = 8000

Case 9:                '5h d'adquisició
    tempsseleccionat = 18000
    Form1.Timer1.Interval = 10000

Case 10:               '6h d'adquisició
    tempsseleccionat = 21600
    Form1.Timer1.Interval = 12000

Case 11:               '7h d'adquisició
    tempsseleccionat = 25200
    Form1.Timer1.Interval = 14000

Case 12:               '8h d'adquisició
    tempsseleccionat = 28800
    Form1.Timer1.Interval = 16000

End Select

If tempsseleccionat < 3600 Then
    TempsSeleccionatHores = tempsseleccionat / 60
    Form1.Label49.Visible = True
    Form1.Label48.Visible = False
Else
    TempsSeleccionatHores = tempsseleccionat / 3600
    Form1.Label48.Visible = True
    Form1.Label49.Visible = False
End If

Form1.Label46 = TempsSeleccionatHores

End Sub

Private Sub Combo2_Click()
    PortSeleccionat = CStr(Combo2.ItemData(Combo2.ListIndex))

    Select Case PortSeleccionat

        Case 0:
            PortSeleccionat = 1
            Form1.MSComm1.CommPort = 1

        Case 1:
            PortSeleccionat = 2
            Form1.MSComm1.CommPort = 2

        Case 2:
            PortSeleccionat = 3
            Form1.MSComm1.CommPort = 3

```



```

Case 3:
  PortSeleccionat = 4
  Form1.MSComm1.CommPort = 4

Case 4:
  PortSeleccionat = 5
  Form1.MSComm1.CommPort = 5

Case 5:
  PortSeleccionat = 6
  Form1.MSComm1.CommPort = 6

Case 6:
  PortSeleccionat = 7
  Form1.MSComm1.CommPort = 7

Case 7:
  PortSeleccionat = 8
  Form1.MSComm1.CommPort = 8

Case 8:
  PortSeleccionat = 9
  Form1.MSComm1.CommPort = 9

Case 9:
  PortSeleccionat = 10
  Form1.MSComm1.CommPort = 10

```

End Select

## Formulari principal:

Public Sub Form\_Load() 'event del formulari, condicions inicials

```

Form1.Hide
Load Form2
Form2.Command2.Visible = False
Form2.Show
cont = 0
Form1.Label44 = Form2.Text2.Text
Form1.Label45 = Form2.Text3.Text
Form1.Label50.Visible = False
Form1.Label51.Visible = False

If tempsseleccionat < 3600 Then
  TempsSeleccionatHores = tempsseleccionat / 60
Else
  TempsSeleccionatHores = tempsseleccionat / 3600
End If

Form1.Label46 = TempsSeleccionatHores
'.....
'inicialitzar gràfiques

Timer1.Interval = 50

'gràfica 1
MSChart1.chartType = 3

```

```
MSChart1.ColumnCount = 1
MSChart1.RowCount = 1
```

```
'gràfica 2
MSChart2.chartType = 3
MSChart2.ColumnCount = 1
MSChart2.RowCount = 1
```

```
.....
```

```
Do
DoEvents
Loop Until DadesEntrades = True
```

```
If DadesEntrades = True Then
```

```
    BorrarGrafic
    Do
    DoEvents
    Loop Until borrat = True
```

```
If borrat = True Then
```

```
CarregarTaula
Do
DoEvents
Loop Until TaulaCarregada = True
```

```
Form2.Visible = False
Form1.Visible = True
```

```
If MSComm1.PortOpen = False Then
    MSComm1.PortOpen = True    'Un cop carregades les dades, obrim el port serie del PC
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
Public Sub GestioErrorTermopar()
```

```
    If ErrorTermopar1 = True Or ErrorTermopar0 = True Or TimeOutComunicacio = True Then
        timer1.Enabled = False
        ParoErrorTermopar = True
        Form1.Lectura0.Text = ""
        Form1.Lectura1.Text = ""
        Form3.Visible = True
```

```
        If ErrorTermopar1 = True Then
            Form3.Label1.Caption = "Error entrada termopar1"
            oSheet.Range("G" & FilaExcel).Value = "Error TP1"
            AlgunErrorOcorregut = True
```

```
        End If
```

```
        If ErrorTermopar0 = True Then
            Form3.Label1.Caption = "Error entrada termopar0"
            oSheet.Range("G" & FilaExcel).Value = "Error TP0"
```

```

        AlgunErrorOcorregut = True

    End If

    If TimeOutComunicacio = True Then
        Form3.Label1.Caption = "Error TimeOut comunicació"
        oSheet.Range("G" & FilaExcel).Value = "Error Comunicacions"
        AlgunErrorOcorregut = True

    End If

    End If

    If ErrorTermopar1 = False And ErrorTermopar0 = False And Termopar_Reparat = True And
    TimeOutComunicacio = False Then
        Timer1.Enabled = True
        Form3.Visible = False
        Termopar_Reparat = False
        ParoErrorTermopar = False
        TimeOutComunicacio = False
        TimeOutCont = 0

    End If

    If AlgunErrorOcorregut = True Then
        Form1.Label53.Visible = True
        Form1.Label52.Visible = True
        Form1.Shape5.Visible = True
        Form1.Label50.Visible = True
        Form1.Shape6.Visible = False
        Form1.Label51.Visible = False

    Else
        Form1.Label53.Visible = False
        Form1.Label52.Visible = False
        Form1.Shape6.Visible = True
        Form1.Label51.Visible = True
    End If

End Sub

Public Sub MSComm1_OnComm() 'event del port serie

    'recuperem error de comunicacio al rebre comunicacio
    TimeOutComunicacio = False
    ..

    If Timer1.Enabled = False And Timer2.Enabled = False And PrimeresDadesRebudes = True Then 'Un
    cop carregades les dades, activem el timer1

        Timer1.Enabled = True
        Timer2.Enabled = True
    End If

    If AdquisicioFinalitzada = False Then
        Sequencia
        GuardarExcel
        GestioErrorTermopar

    Else

        MSComm1.PortOpen = False
        Timer1.Enabled = False
        Timer2.Enabled = False
        'missatge programa finalitzat

```

```

End If

End Sub

Private Sub Picture1_Click()

End Sub

Public Sub Timer1_Timer()

    SegonsTranscorreguts = Form1.Label21.Caption

    If tempsseleccionat >= temps Then
        'If cont <= 30000 Then
        If ParoErrorTermopar = False Then
            cont = cont + 1
            Form1.Label28.Caption = cont
            Form1.Label31.Visible = False
            '
            Form1.Label28.Visible = False
            End If
            'gràfic-1
            Form1.MSChart1.Column = 1
            Form1.MSChart1.RowCount = cont
            'evitar que a l'inici del gràfic tinguem la linia a 0.
            If cont >= 0 Then
                Form1.MSChart1.Column = 1 'termopar 0
                Form1.MSChart1.Row = cont
                Form1.MSChart1.Data = Form1.Lectura0.Text
            End If

            cont = CInt(cont)
            Form1.MSChart1.Row = CInt(cont) 'x

            'gràfic-2
            Form1.MSChart2.Column = 1
            Form1.MSChart2.RowCount = cont
            'evitar que a l'inici del gràfic tinguem la linia a 0.
            If cont >= 0 Then
                Form1.MSChart2.Column = 1 'termopar 0
                Form1.MSChart2.Row = cont
                Form1.MSChart2.Data = Form1.Lectura1.Text
            End If

            cont = CInt(cont)
            Form1.MSChart2.Row = CInt(cont) 'x

        Else

            AdquisicioFinalitzada = True
        End If

    End Sub

Public Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

    If MSComm1.PortOpen = True Then

        MSComm1.PortOpen = False    'quan tanquem el formulari, tanquem el port

    End If

End Sub

```

```

Private Sub Timer2_Timer()
' .....
' "comprovacio problema comunicacions
'
'
'
TimeOutValor = Round(((TempsMain - TempsForaMain) / 1000), 0)
If TimeOutValor > 1 And cont > 4 Then
    TimeOutComunicacio = True
    AlgunErrorOcorregut = True
    oSheet.Range("G" & FilaExcel).Value = "Error Comunicacions"
    ParoErrorTermopar = True
End If

Do                                'sino no es pot guardar si s'han perdut les comunicacions
    DoEvents
    If TimeOutComunicacio = True Then
        Form3.Visible = True
        Form3.Label1.Caption = "Error TimeOut comunicació"
    End If

    ' ""INDICADOR SISTEMA COMUNICACIONES
    If TimeOutComunicacio = False Then

        Form1.Shape1.Visible = True
        Form1.Label23.Visible = True

        Form1.Shape2.Visible = False
        Form1.Label24.Visible = False

    Else

        Form1.Shape2.Visible = True
        Form1.Label24.Visible = True

        Form1.Shape1.Visible = False
        Form1.Label23.Visible = False

    End If

' .....

    Loop Until TimeOutComunicacio = False Or AdquisicioParada = True

    If TimeOutComunicacio = True And AdquisicioParada = True Then
        GuardarExcel 'guardem resultats i acabem l'assaig
    End If

' .....
' ""INDICADOR SISTEMA TERMOPARS
If ErrorTermopar1 = False And ErrorTermopar0 = False Then

    Form1.Shape4.Visible = True
    Form1.Label26.Visible = True

    Form1.Shape3.Visible = False
    Form1.Label25.Visible = False

```

```

Else
    Form1.Shape3.Visible = True
    Form1.Label25.Visible = True

    Form1.Shape4.Visible = False
    Form1.Label26.Visible = False
End If
,
, .....

    If AlgunErrorOcorregut = True Then
        Form1.Label53.Visible = True
        Form1.Label52.Visible = True
        Form1.Shape5.Visible = True
        Form1.Label50.Visible = True
        Form1.Shape6.Visible = False
        Form1.Label51.Visible = False

    Else
        Form1.Label53.Visible = False
        Form1.Label52.Visible = False
        Form1.Shape6.Visible = True
        Form1.Label51.Visible = True
    End If

TempsMain = GetTickCount

End Sub

```

## Codi Rutina seqüència

```

Public Timer1 As Timer
Public Timer2 As Timer

Public Sub BorrarGrafic()

    If borrat = False Then
        Form1.MSChart1.RowCount = 3000
        For i = 1 To Form1.MSChart1.RowCount

            'borrar gràfic1
            Form1.MSChart1.Column = 1 'termopar 0
            Form1.MSChart1.Row = i
            Form1.MSChart1.Data = 0

            'borrar gràfic2
            Form1.MSChart2.Column = 1 'termopar o
            Form1.MSChart2.Row = i
            Form1.MSChart2.Data = 0
            Form1.MSChart2.Column = 1 'termopar 1
            Form1.MSChart2.Row = i
            Form1.MSChart2.Data = 0

            Next i
            borrat = True
            Form1.MSChart1.Row = 1
        ,
    End If

End Sub

```

Public Sub Sequencia()

Select Case Form1.MSComm1.CommEvent

Case comEvReceive ' Rebut nº SThreshold

TramaRebuda = Form1.MSComm1.Input 'guardar trama d'entrada

CRCCalculat = CRC 'calcular crc en la funció crc

CRCREbut = TramaRebuda(4) 'crc calculat pel micro

If CRCCalculat = CRCRebut Then 'comprovar crc

If TramaRebuda(0) = 2 Then ' STX

Canal = TramaRebuda(1) ' canal enviat

valor\_llegit\_codificat = TramaRebuda(2) \* 256 + TramaRebuda(3) \* 1

valor\_llegit\_en\_tensio = 5 \* valor\_llegit\_codificat / 1023

If Canal = 192 Or Canal = 224 Then ' 192 canal 0 ok, 224 error en canal 0

If Canal = 192 Then

ErrorTermopar0 = False

End If

If Canal = 224 Then

ErrorTermopar0 = True

End If

Form1.Lectura0.Text = Temperatura 'temperatura calculada en funcio temperatura

Form1.Text5.Text = TramaRebuda(0) 'mostrar trama rebuda en formulari

Form1.Text6.Text = TramaRebuda(1)

Form1.Text7.Text = TramaRebuda(2)

Form1.Text8.Text = TramaRebuda(3)

Form1.Text9.Text = TramaRebuda(4)

PrimeresDadesRebudes = True 'Mostra 1a dada abans d'engegar el timer1. Sino dona problemes mostra espai blanc en gràfic abans 1a dada.

Else

If Canal = 193 Or Canal = 225 Then '193 canal 1 ok, 225 error en canal 1.

If Canal = 193 Then

ErrorTermopar1 = False

End If

If Canal = 225 Then

ErrorTermopar1 = True

End If

Form1.Lectura1.Text = Temperatura

Form1.Text10.Text = TramaRebuda(0)

Form1.Text11.Text = TramaRebuda(1)

Form1.Text12.Text = TramaRebuda(2)

Form1.Text13.Text = TramaRebuda(3)

Form1.Text14.Text = TramaRebuda(4)

```

Else
    MsgBox "S'ha rebut una trama amb el canal incorrecte" 'si el valor no és 193 és senyal
de que el canal és incorrecte, ja que ja s'ha comprovat el 292 en el if anterior
End If
End If
Else
    MsgBox "La trama rebuda no ha començat per el STX"
End If
Else
    MsgBox "CRC rebut no coincideix amb el calculat"
End If
End Select
End Sub

```

Function Temperatura() As Double

Dim i As Double

Dim anterior As Double

Dim posterior As Double

```

i = 0
Temperatura = 0
Do
    DoEvents
    i = i + 1
Loop Until valor_llegit_en_tensio <= Taula(2, i) 'taula de tensions (i=nivell tensió) valor llegit és la
suma de
'la part alta i baixa de la dada (byte2+byte3)

```

```

If i = 281 Then
    posterior = Taula(2, 281)
Else
    posterior = Abs(valor_llegit_en_tensio - Taula(2, i)) 'resta amb valor absolut
End If

```

```

If i = 1 Then 'evita error de programa si el valor rebut és més petit que el 1er valor de la taula
(en tensió)
    anterior = Taula(2, 1)
Else
    anterior = Abs(valor_llegit_en_tensio - Taula(2, i - 1)) 'anterior és la resta entre el valor rebut en
tensió i l'anterior posició de la taula
End If

```

```

If anterior > posterior Then
    Temperatura = Taula(1, i) 'si el valor rebut està més pròxim al valor posterior, mostra el posterior
Else
    If i = 1 Then
        Temperatura = Taula(1, 1)
    Else
        Temperatura = Taula(1, i - 1) 'si el valor rebut és més pròxim al valor anterior de la taula, mostra el
valor anterior.
    End If
End If

```

End Function

Function CRC() As Long

Dim i As Byte

```

CRC = 0
For i = 0 To 3
    CRC = CRC + TramaRebuda(i) 'sumar dada0 + dada1 + dada2 + dada 3
Next
CRC = CRC And 255 'eliminar els bits de la part alta del crc *(0000000011111111)

```

End Function



```

Public Sub CarregarTaula()

Taula(1, 1) = -40    'temperatures
Taula(1, 2) = -39
.
.
.

Taula(1, 280) = 239
Taula(1, 281) = 240

'Taula de tensions

Taula(2, 1) = 0    'tensions 0 -40°C
Taula(2, 2) = 0.016
.
.
.

Taula(2, 280) = 4.981
Taula(2, 281) = 5    ' +240°C

TaulaCarregada = True

End Sub

End Sub

```

## Guardar fitxer excel:

```

Public Sub GuardarExcel()

If ObjecteCreat = False Then

Set oExcel = CreateObject("Excel.Application")
Set oBook = oExcel.Workbooks.Add
ObjecteCreat = True
FilaExcel = 6
dia = Date
'oExcel.Visible = True
Set oSheet = oBook.Worksheets(1)
End If

If cont >= 2 Then 'evita primera fila amb una dada i prou

oSheet.Range("A1").Value = "Inici assaig:"
oSheet.Range("B1").Value = dia
oSheet.Range("C1").Value = Time

oSheet.Range("B5").Value = "Temps test"
oSheet.Range("C5").Value = "Ubicació TP0"
oSheet.Range("D5").Value = "Valor TP0"

```

```

oSheet.Range("E5").Value = "Ubicació TP1"
oSheet.Range("F5").Value = "Valor TP1"
oSheet.Range("G5").Value = "Error"
oSheet.Range("H5").Value = "MAX TP0"
oSheet.Range("I5").Value = "MIN TP0"
oSheet.Range("J5").Value = "MAX TP1"
oSheet.Range("K5").Value = "MIN TP1"

```

```

oSheet.Range("A1:K5").Font.Bold = True

```

```

'mostrat temps en camp excel
If PrimeraAdquisicio = False Then
    Temps1 = GetTickCount 'capturo contingut rellotge intern vb
    PrimeraAdquisicio = True
End If

```

```

Temps2 = GetTickCount
temps = Round(((Temps2 - Temps1) / 1000), 0)

```

```

TempsForaMain = GetTickCount ' capturo comptador intern vb

```

```

'funció per convertir
Convertir_Hores_Min_Seg (temps)

```

```

If ErrorTermopar1 = False And ErrorTermopar0 = False And ParoErrorTermopar = False Then
    FilaExcel = FilaExcel + 1

```

```

oSheet.Range("B" & FilaExcel).Value = Form1.Label21.Caption
oSheet.Range("C" & FilaExcel).Value = Form2.Text2.Text
oSheet.Range("D" & FilaExcel).Value = Form1.Lectura0.Text
oSheet.Range("E" & FilaExcel).Value = Form2.Text3.Text
oSheet.Range("F" & FilaExcel).Value = Form1.Lectura1.Text

```

```

If Canal = 192 Then

```

```

    'gestio temperatura màxima i mínima

```

```

        If cont < 5 Then 'evitar 0 en tmin al principi
            TemperaturaMaxC0 = Temperatura
            TemperaturaMinC0 = Temperatura

```

```

        Else

```

```

            If Temperatura > TemperaturaMaxC0 Then 'evitar guardar pic puntual com a màxim de tª.
                TemperaturaMaxC0 = Temperatura
            End If

```

```

            If Temperatura < TemperaturaMinC0 Then
                TemperaturaMinC0 = Temperatura
            End If

```

```

            oSheet.Range("H" & 7).Value = TemperaturaMaxC0
            oSheet.Range("I" & 7).Value = TemperaturaMinC0
            Form1.Label36.Caption = TemperaturaMaxC0
            Form1.Label37.Caption = TemperaturaMinC0

```

```

        End If

```

```

    End If

```

```

If Canal = 193 Then 'si adquirim el canal 1

    'gestio temperatura màxima i mínima

    If cont < 5 Then 'evitar 0 en tmin al principi
        TemperaturaMaxC1 = Temperatura
        TemperaturaMinC1 = Temperatura
    Else

        If Temperatura > TemperaturaMaxC1 Then
            TemperaturaMaxC1 = Temperatura
        End If

        If Temperatura < TemperaturaMinC1 Then
            TemperaturaMinC1 = Temperatura
        End If

        oSheet.Range("J" & 7).Value = TemperaturaMaxC1
        oSheet.Range("K" & 7).Value = TemperaturaMinC1
        Form1.Label38.Caption = TemperaturaMaxC1
        Form1.Label39.Caption = TemperaturaMinC1

    End If

End If

End If

End If

If (AdquisicioParada = True) Or (tempsseleccionat <= temps) Then
'Guardar fitxer i tancar programa
Form2.Show
Form2.Command1.Visible = False
Form2.Command2.Visible = True

AdquisicioFinalitzada = True
Do
    DoEvents
    Loop Until TancarPrograma = True

    If TancarPrograma = True Then
        ruta = Form2.Text1.Text
        oBook.SaveAs ruta 'guardar assaig
        Espera 2000
        'Tancar excel
        oExcel.ActiveWorkbook.Close False, "ruta"
        Espera 500
        oExcel.Quit
        Espera 500
        'Set oExcel = Nothing
        Set oBook = Nothing
        Espera 500
        Set oExcel = Nothing
        Espera 500
    End If

End If

End If

```

```
End Sub
Function Convertir_Hores_Min_Seg(ByVal temps As Long) As Long
```

```
HR = (temps \ 3600) Mod 24
```

```
MS = (temps \ 60) Mod 60
```

```
SS = (temps Mod 3600) Mod 60
```

```
Form1.Label29.Visible = False
```

```
Form1.Label30.Visible = False
```

```
Form1.Label21.Caption = ("" & HR) & ("h" & MS) & ("m" & SS) & ("s")
```

```
End Function
```

```
Function Espera(ByVal TempsEspera As Long) As Boolean
```

```
    tinicial = GetTickCount
```

```
    Do
```

```
        DoEvents
```

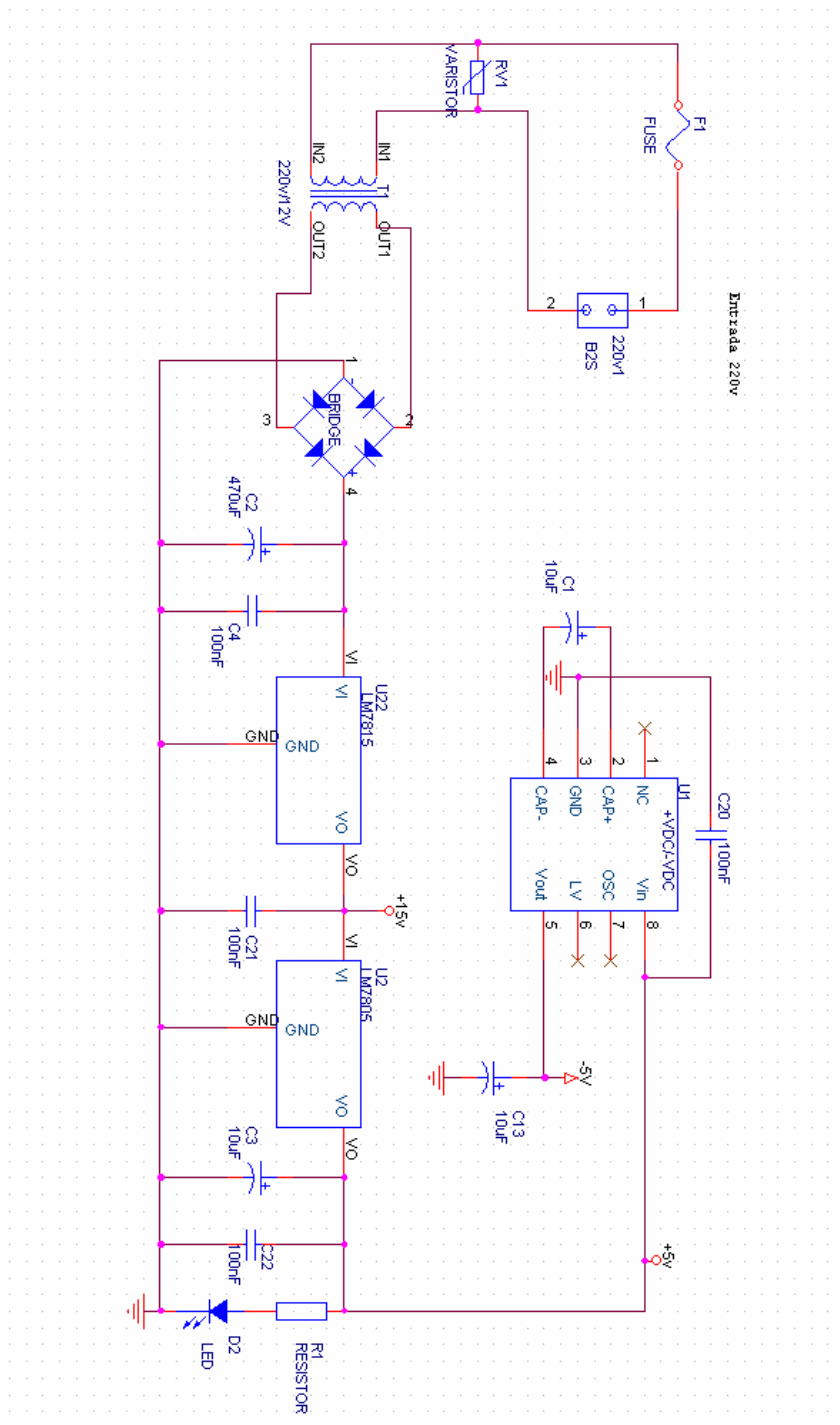
```
        ResultatResta = (GetTickCount - tinicial)
```

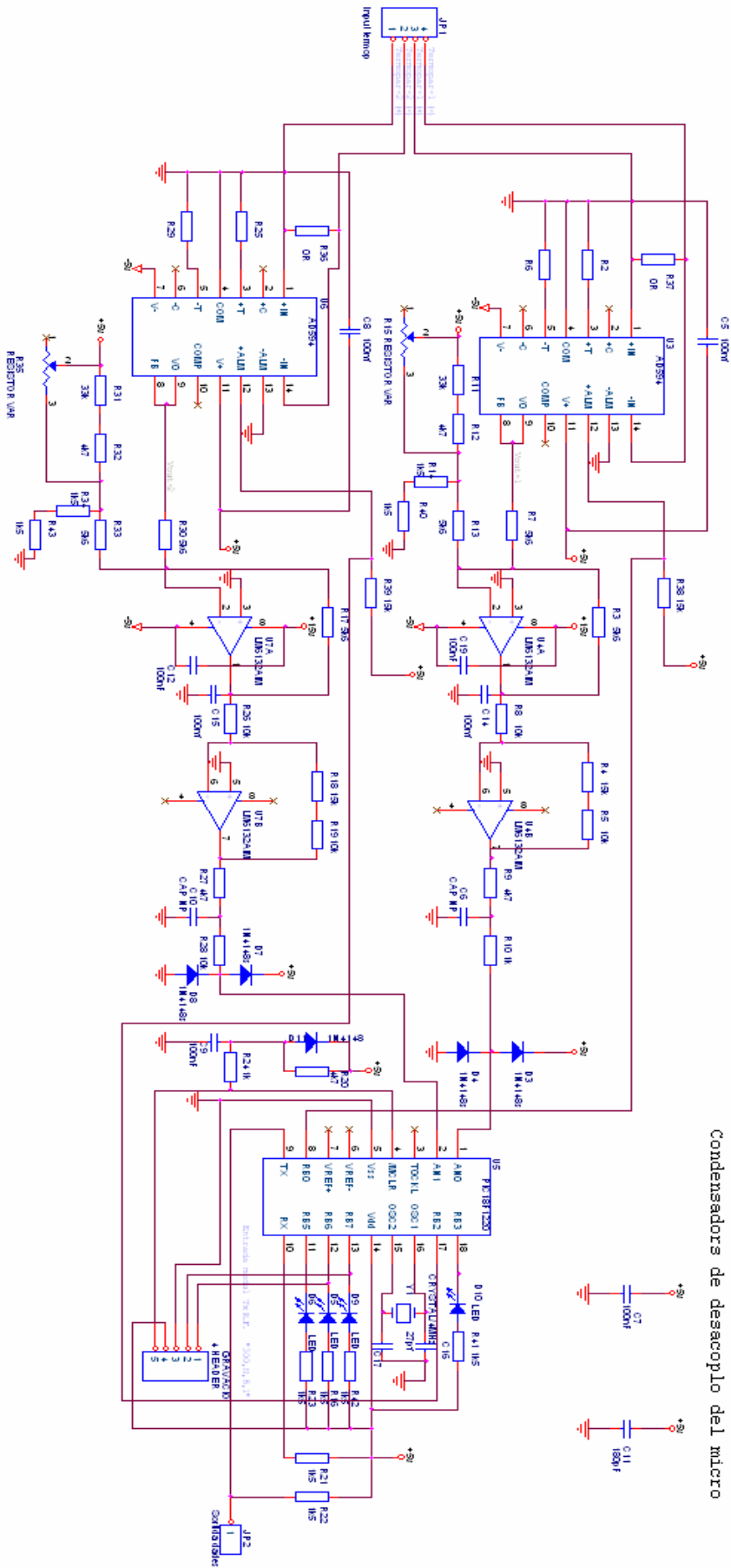
```
        Loop Until Round((ResultatResta > TempsEspera), 2)
```

```
    Espera = True
```

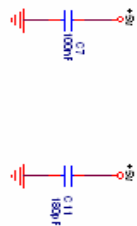
```
End Function
```

## D- Esquemes placa d'adquisició





Condensadors de desacoplo del micro



## E- Taula d'equivalència tensió termoparells – tensió entrada uC

**TAULA EQUIVALÈNCIES: /TERMOPAR TIPUS J / AD594 / ENTRADA MICROCONTROLADOR/**

Temperatura	TP J out (mv)	TP J out (V)	ad594 out	ad594 out mv	entrada micro	uC Vin (V)
-40	-1.961	-0,001961	-0,376	-376	0	0,000
-39	-1.913	-0,001913	-0,367	-367	16	0,016
-38	-1.865	-0,001865	-0,358	-358	32	0,032
-37	-1.818	-0,001818	-0,349	-349	48	0,048
-36	-1.770	-0,001770	-0,339	-339	64	0,064
-35	-1.722	-0,001722	-0,330	-330	80	0,080
-34	-1.674	-0,001674	-0,321	-321	96	0,096
-33	-1.626	-0,001626	-0,311	-311	112	0,112
-32	-1.578	-0,001578	-0,302	-302	128	0,128
-31	-1.530	-0,001530	-0,293	-293	144	0,144
-30	-1.482	-0,001482	-0,284	-284	160	0,160
-29	-1.433	-0,001433	-0,274	-274	176	0,176
-28	-1.385	-0,001385	-0,265	-265	192	0,192
-27	-1.336	-0,001336	-0,255	-255	209	0,209
-26	-1.288	-0,001288	-0,246	-246	225	0,225
-25	-1.239	-0,001239	-0,237	-237	241	0,241
-24	-1.190	-0,001190	-0,227	-227	257	0,257
-23	-1.142	-0,001142	-0,218	-218	273	0,273
-22	-1.093	-0,001093	-0,208	-208	290	0,290
-21	-1.044	-0,001044	-0,199	-199	306	0,306
-20	-0.995	-0,000995	-0,189	-189	323	0,323
-19	-0.946	-0,000946	-0,180	-180	339	0,339
-18	-0.896	-0,000896	-0,170	-170	356	0,356
-17	-0.847	-0,000847	-0,161	-161	372	0,372
-16	-0.798	-0,000798	-0,151	-151	388	0,388
-15	-0.749	-0,000749	-0,142	-142	405	0,405
-14	-0.699	-0,000699	-0,132	-132	421	0,421
-13	-0.650	-0,000650	-0,123	-123	438	0,438
-12	-0.600	-0,000600	-0,113	-113	455	0,455
-11	-0.550	-0,000550	-0,103	-103	471	0,471
-10	-0.501	-0,000501	-0,094	-94	488	0,488
-9	-0.451	-0,000451	-0,084	-84	504	0,504
-8	-0.401	-0,000401	-0,074	-74	521	0,521
-7	-0.351	-0,000351	-0,065	-65	538	0,538
-6	-0.301	-0,000301	-0,055	-55	554	0,554
-5	-0.251	-0,000251	-0,045	-45	571	0,571
-4	-0.201	-0,000201	-0,036	-36	588	0,588
-3	-0.151	-0,000151	-0,026	-26	605	0,605
-2	-0.101	-0,000101	-0,016	-16	621	0,621
-1	-0.050	-0,000050	-0,007	-7	638	0,638
0	0.000	0	0,003	3	655	0,655
1	0.050	0,000050	0,013	13	672	0,672
2	0.101	0,000101	0,023	23	689	0,689

3	0.151	0,000151	0,032	32	706	0,706
4	0.202	0,000202	0,042	42	723	0,723
5	0.253	0,000253	0,052	52	740	0,740
6	0.303	0,000303	0,062	62	756	0,756
7	0.354	0,000354	0,072	72	773	0,773
8	0.405	0,000405	0,081	81	790	0,790
9	0.456	0,000456	0,091	91	807	0,807
10	0.507	0,000507	0,101	101	825	0,825
11	0.558	0,000558	0,111	111	842	0,842
12	0.609	0,000609	0,121	121	859	0,859
13	0.660	0,000660	0,131	131	876	0,876
14	0.711	0,000711	0,141	141	893	0,893
15	0.762	0,000762	0,150	150	910	0,910
16	0.814	0,000814	0,161	161	927	0,927
17	0.865	0,000865	0,170	170	944	0,944
18	0.916	0,000916	0,180	180	961	0,961
19	0.968	0,000968	0,190	190	979	0,979
20	1.019	0,001019	0,200	200	996	0,996
21	1.071	0,001071	0,210	210	1013	1,013
22	1.122	0,001122	0,220	220	1030	1,030
23	1.174	0,001174	0,230	230	1047	1,047
24	1.226	0,001226	0,240	240	1065	1,065
25	1.277	0,001277	0,250	250	1082	1,082
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
220	11.889	0,011889	2,302	2302	4628	4,628
221	11.945	0,011945	2,313	2313	4647	4,647
222	12.000	0,012000	2,324	2324	4665	4,665
223	12.056	0,012056	2,335	2335	4684	4,684
224	12.111	0,012111	2,345	2345	4703	4,703
225	12.167	0,012167	2,356	2356	4721	4,721
226	12.222	0,012222	2,367	2367	4740	4,740
227	12.278	0,012278	2,378	2378	4758	4,758
228	12.334	0,012334	2,388	2388	4777	4,777
229	12.389	0,012389	2,399	2399	4795	4,795
230	12.445	0,012445	2,410	2410	4814	4,814
231	12.500	0,012500	2,421	2421	4833	4,833
232	12.556	0,012556	2,431	2431	4851	4,851
233	12.611	0,012611	2,442	2442	4870	4,870
234	12.667	0,012667	2,453	2453	4888	4,888
235	12.722	0,012722	2,464	2464	4907	4,907
236	12.778	0,012778	2,474	2474	4925	4,925
237	12.833	0,012833	2,485	2485	4944	4,944
238	12.889	0,012889	2,496	2496	4963	4,963
239	12.944	0,012944	2,506	2506	4981	4,981
240	13.000	0,013000	2,517	2517	5000	5,000



